جولات في الفكر العلمي

الكتاب الأول

تأليف
الدكتور هشام غصيب

قسم الثقافة العلمية
دائرة المعلومات والموازنة
الجمعية العلمية الملكية

دار الفرقان

مشروع الدراسات والأبحاث العلمية
قسم الثقافة العلمية
دائرة المعلومات والموازنة
الجمعية العلمية الملكية

عمان ـ الأردن

الطبعة الأولى
١٤٠٥هـ ـ ١٩٨٥م

دار الفرقان
للنشر والتوزيع
عمان / الأردن / جبل الحسين شارع خالد بن الوليد
ص.ب ٩٢١٥٢٦ ت: ٦١٠٩٣٧

شكر وتقدير

يسر قسم الثقافة العلمية
دائرة المعلومات والموازنة في الجمعية العلمية الملكية
أن يتقدم بجزيل شكره إلى
شركة مصفاة البترول الأردنية
على دعمها نشاطات القسم الثقافية العلمية
التي يقع هذا الكتاب ضمنها

بسم الله الرحمن الرحيم

المحتويات

مقدمة خاصـــة

هذه مجموعة من الدراسات المكثفة تسلّط الضوء على العديد من أوجه البنيان الفكري المفهومي للفيزياء، والعلاقات التي تربطه بغيره من الأطر الحضارية، وبخاصة الفكرية منها، وتسلّطه أيضاً على مبدأ تطور هذا البنيان ونموّه.

ويتلخّص هدف هذه المجموعة في النقاط التالية:

(١) تزويد القارىء المختص بالجوهر الفكري المتشعّب لموضوعه والذي غالباً ما يغيب عن باله في غمرة انشغاله بالتفصيلات والحسابات المضنية.

(٢) بيان المغزى الحضاري والفلسفي العيني للنشاط العلمي.

(٣) تزويد الطالب، الجامعي بخاصة، بالمنطق الفكري الخاص لعلم الفيزياء، وذلك تسهيلاً لاستيعاب هذا العلم في شموليته، وفهم التفصيلات في ضوء هذه الشمولية.

(٤) لفت نظر المثقف الجاد (غير المختص بالفيزياء) إلى الأنماط الفكرية الجديدة (والمذهلة)التي يبدعها العلم، وذلك بغية توسيع أفقه وتعميق ممارساته الفكرية في مجال تخصصه.

وقد يبدو للوهلة الأولى أن هذه المقالات منفصلة ومستقلة فكرياً عن بعضها، إلا من حيث كونها جميعاً تقع ضمن نطاق التخصص ذاته. بيد أنه، في واقع الحال، ثمة شبكة مفهومية عميقة تربط هذه المقالات جميعاً ببعضها ضمن إطار مفهومي واحد. فالحق أن هذه المقالات تُعنى جميعاً بالجوهر ذاته،

لكنها تمثّل رؤية هذا الجوهر من زوايا مختلفة. فلا سبيل حقيقياً لاستيعاب هذا الجوهر في شموليته إلا بالنظر إليه من عدة زوايا. إذ فيما تعالج بعض هذه الدراسات هذا الجوهر من زاوية جدل الجاهري ـ المجهري، فإن بعضها الآخر يتناوله من زاوية جدل المجال ـ الجسيم. وثمة بعض آخر يتناوله من منطلق معضلة توحيد قوى الطبيعة. ولا يظهر البنيان في شموليته وأبعاده الحقيقية إلا في ضوء زوايا النظر هذه جميعاً.

ولا نكتفي ههنا ببيان الصرح المفهومي للفيزياء في لحظته الحالية، بل إننا نسلّط الضوء أيضاً على لحظة ولادته وعلى آلية تطوره ومراحله، ونسلّطه على العلاقات المتشابكة التي تربطه بالظروف الحضارية العامة في مراحله المختلفة. بذلك نحاول بيان الماهية الفكرية والمغزى الحضاري العام لعلم الفيزياء، وذلك في ضوء تصوّر فلسفي عام للنشاط الإنساني وللتغيّر في التاريخ البشري.

أرجو أن يجد القارىء من المتعة والإثارة في قراءة هذا الكتاب ما وجدته منها في كتابته.

المؤلف

مقدمة عامة

عناصر التأليف ومقوّماته

مقدمة عامة

عناصر التأليف ومقوّماته

ثمة غمامة كثيفة من الغموض تحيط بمفهوم التأليف في بلادنا، حتى في أوساط المثقفين، وبخاصة في مجال الفكر العلمي، ربّما لبُعد الأخير عن منطق حياتنا وندرة مساهمتنا في صنعه وخلقه. فالحق أن العديد من الناس في الأردن يخلطون في العادة بين عملية التأليف وبين جمع المعلومات، الذي لا يشكّل سوى بُعد واحد من أبعاد التأليف، أو بينها وبين الترجمة التي تختلف نوعياً عن التأليف، وبين النقل من هنا وهناك، والذي يعدّ سرقة أدبية في البلدان المتقدمة، ولا يلجأ إليه إلاّ كل من فقد أبسط مقومات الأخلاقية العلمية والأكاديمية.

ولقد ارتأيت أن أبسط ههنا الخطوات الأساسية في علمية التأليف كما مارسها ويمارسها البعض في هذا البلد، وذلك تجسيداً وتلخيصاً لخبرة هذا البعض في هذا المجال:

أولاً: إن التأليف لا ينبع من العدم بطبيعة الحال. فهو ينبع من الحيرة التي ترافق أي دراسة جادّة لموضوع ما. فإذا انتفت الحيْرة الفكرية في ذات المرء، انتفت إمكانية التأليف ذاته. بل إن دراسة الموضوع لا تشكّل دراسة بالمعنى الصحيح ما لم يرافقها فكر وتفكير متواصلان، وما لم تُثِرْ في ذات المرء الدارس الحيرة إما بصدد الترابط بين الأفكار والحقائق المدروسة أو بصدد ما تشير إليه هذه الأفكار من منطويات ومكامن وتناقضات. فإن الانشغال الحقيقي بالموضوع وما يرافق ذلك الانشغال من حيرة أصيلة ليشكلان التربة الأساسية للتأليف والدراسة

الجادة. فلا يمكن استيعاب المادة المدروسة استيعاباً حقيقياً، إلا بتسليط نور الفكر عليها والذي تشكّل الحيرة آليته الأساسية. بعد ذاك يأتي التأليف تسجيداً للحيرة ورداً عن الأسئلة النابعة منها.

ثانياً: إن التأليف إنتاج (إنتاج فكري). ولا يتم الإنتاج بلا وسائل إنتاج. بيْد أن استعمال وسائل الإنتاج على المستوى المعني لا يتمّ عفوياً ولا تلقائياً، بل يستلزم تدريباً مكيناً على استعمالها واكتساب مهارات معينة بصددها. ومن ثم، فإن التأليف يستلزم إتقان استعمال أدوات إنتاج المعرفة والفكر في الموضوع المعني (العمليات الرياضية والمنطقية والمفهومية، والمنهجية الفكرية الملائمة للموضوع).

ثالثاً: وبطبيعة الحال، فإن التأليف يستلزم إتقان استعمال أدوات التعبير السليم والدقيق، ورشاقة فكرية مميزة.

رابعاً: بيد أن الإنتاج لا يستلزم أدوات إنتاج فحسب. إذ إنه يستلزم أيضاً مادة خاماً. وفي حال التأليف، فإن المادة الخام لهي المعرفة المتراكمة سابقاً والأفكار والحقائق والتكهنات المطروحة في الكتب والدوريات والمجلات ووسائل الإعلام المختلفة (سينما، تلفزيون، راديو، وسائل سمعية وبصرية أخرى)، بالإضافة إلى ممارسات المؤلف العملية والنظرية والحياتية اليومية. بذلك، فإن الاطلاع المتواصل، الواسع والعميق، لهو شرط جذري من شروط التأليف.

خامساً: كذلك فإن الإنتاج يستلزم ممارسة ونشاطاً منهجياً متواصلاً بعد توفر الشروط الأخرى، بمعنى أنه يستلزم تطبيق أدوات الإنتاج الفكري المذكورة على المادة الخام تطبيقاً إبداعياً بغية استيعاب الموضوع المعني استيعاباً عميقاً وسبر أغواره، ثم تنظيم أركانه والتعبير عنها بدقة.

سادساً: ضرورة الحوار المتواصل مع الذات ومع الغير بوصف الحوار وسيلة أساسية من وسائل استنطاق الموضوع.

سابعاً: توفّر الرغبة (الجامحة) لدى المؤلف في إشراك الغير في المعرفة التي أنتجها بفضل جهده الطويل والمتواصل في الميدان المعني، بمعنى رغبته في التفاعل فكرياً مع مجتمعه.

ثامناً: إدراك المؤلف أن الشروع في الكتابة النهائية ليس مجرد نتيجة ميكانيكية روتينية للنشاط المذكور في البنود السابقة، بل إنه تلخيص مكثّف للعمليات والشروط المذكورة أعلاه جميعاً، بمعنى أنه يرتبط ارتباطاً جدلياً بعملية تعميق الاستيعاب من حيث إنه وسيلة من وسائل استنطاق الموضوع واستيعابه. وبعبارة أخرى، فإن الكتابة إياها لهي بمثابة عملية استكشاف وكشف من حيث إنها تكشف النقاب عن علاقات كامنة ومشكلات فكرية ما كان في مقدور المؤلف الكشف عنها قبل الشروع في الكتابة.

فالتأليف إذن عملية إبداعية تتضمن البحث والدراسة والتفكير المركّز في آن. فهو ليس نقلاً من هنا وهناك، وليس تجميعاً «بريئاً» للمعلومات. إنه خلق وإنتاج، أعني تحويل مادة خام إلى صورة منظّمة متناسقة.

الإشعاع دون الأحمر

Infra-Red Radiation

الإشعاع دون الأحمر

Infra - Red Radiation

يشكل الاشعاع دون الأحمر صنفاً معيناً من أصناف الاشعاع الكهرومغناطيسي. بذلك، وشأنه في ذلك شأن غيره من أصناف هذا الإشعاع، فإنه يسلك سلوك الجسيْمات الكمية Quantum Particles (Quanta) على النطاقين الذري والنووي. لكنه يسلك سلوك الموجات على النطاق الجاهري Macroscopic المألوف، بمعنى أنه يمكن تصوره على هذا النطاق على شكل تغيّرات دورية Periodic في المجال الكهرومغناطيسي المتصل.

ولكن، ما الذي يميز هذا النمط عن غيره من أنماط الأشعاع الكهرومغناطيسي؟

تتميز أنماط الإشعاع الكهرومغناطيسي عن بعضها من حيث:

(أ) مدى أطوال الموجات أو الترددات.

(ب) طريقة انبعاث الإشعاع.

(جـ) كيفية تأثير الإشعاع على الحواس البشرية.

وعلى أساس طريقة الانبعاث، فإنه يمكن تقسيم طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي إلى قسمين رئيسيْن:

١ ـ الإشعاعات التي تنبعث بفعل التذبذب الكهربائي Electric Oscillation، مثل إشعاع الراديو والميكروويف ويمتد مدى أطوال موجاتها من ١٠^{٢}ميكرون (μm) إلى ما فوق (١ ميكرون = ١٠$^{-٦}$م).

٢ ـ الإشعاعات التي تنبعث من الجزيئات والذرات وأنوية الذرات. وينتمي

الإشعاع دون الأحمر إلى هذا القسم الذي يتكون في الواقع من نمطين رئيسيْن:

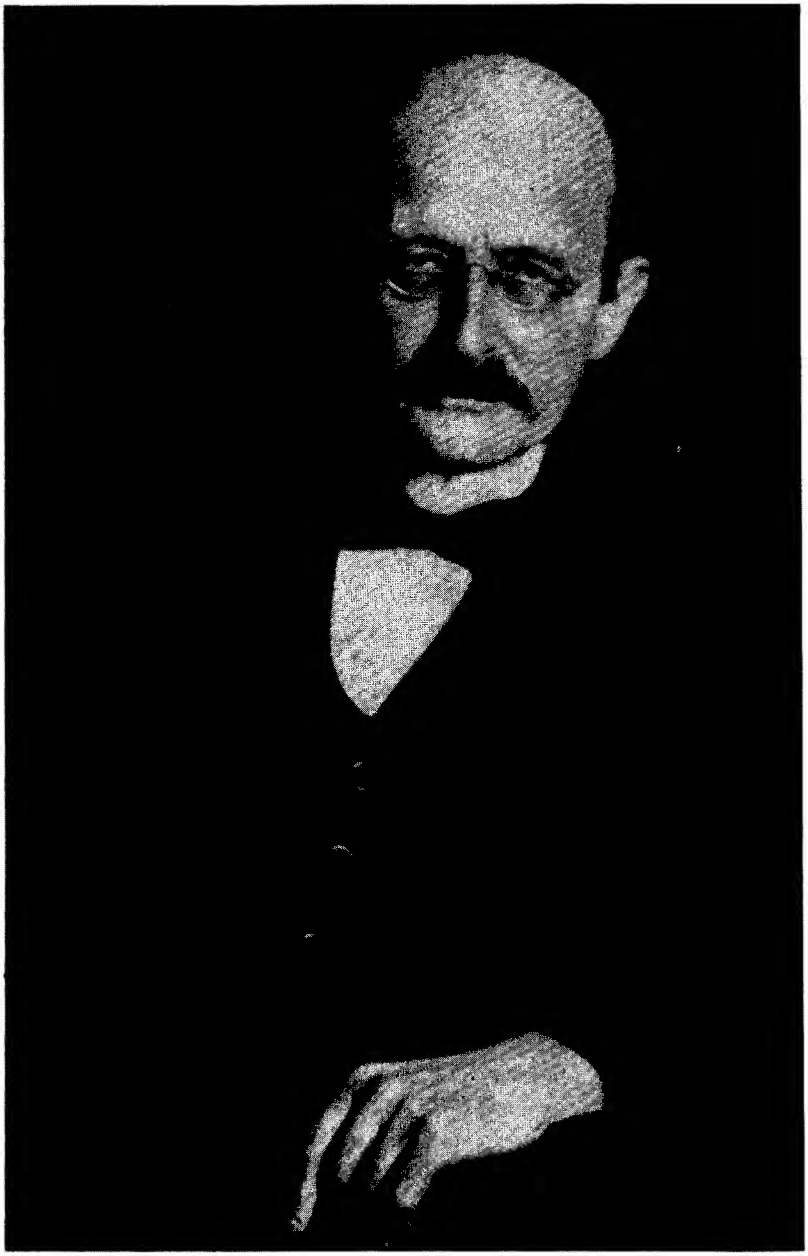
١ ـ الإشعاعات البصرياتية Optical Radiation. ويمتد مداه من ١٠٢ ميكرون الى ١٠-٢ ميـكرون. ويضم هذا النمط الإشعاع دون الأحمر (من ١٠-٢ ميكرون إلى ٠,٧٥ ميكرون)، والضوء أو الإشعاع المرئي (من ٠,٧٥ ميكرون إلى ٠,٤ ميكرون). والإشعاع فوق البنفسجي .U.V (من ٠,٤ ميكرون إلى ١٠-٢ ميكرون). وتنبعث هذه الإشعاعات جميعاً من الجزيئات والذرات.

٢ ـ الإشعاعات النفاذة ذات الطاقة العالية جداً. ويمتد مداه من ١٠-٢ ميكرون إلى ما دون ذلك. ويضم هذا النمط إشعاع X (إكس) وإشعاع γ (غاما). وتنبعث هذه الاشعاعات جميعاً من الذرات (باطن الذرة في الواقع) والأنوية.

وينبعث الإشعاع دون الأحمر في أغلبه من الجزيئات متعددة الذرات، إما بفعل اهتزاز الذرات فيها أو بفعل دوران الجزيئات حول نفسها. لكن بعضه ينبعث من الذرات نفسها بفعل هبوط إلكترونات الذرات من مستويات عالية للطاقة إلى مستويات أدنى (مثلاً: سلسلة «باشن» في طيف غاز الهيدروجين). ولا يختلف الإشعاع دون الأحمر عن الضوء بحق إلا من حيث الأثر الذي يتركه على الحواس الانسانية، بمعنى أنهما متشابهان جداً من حيث طريقة الانبعاث ومتقاربان جداً (متجاوران) من حيث مدى أطوال الموجات. ذلك أن الاشعاع دون الأحمر لا يؤثر على حاسة البصر، بعكس الضوء. لكنه يؤثر على حاسة اللمس من حيث إنه يثير فينا إحساساً بالحرارة. لذا، يمكن تسميته الإشعاع الحراري.

والحق أن النسبة العظمى من الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي تبثّه المواد حولنا عند درجات الحرارة العادية المألوفة لهي تنتمي إلى الإشعاع دون الأحمر. فلا تبدأ المواد بصورة عامة ببث الضوء بكميات ملحوظة إلا عند

درجات الحرارة العالية جداً نسبياً. وبفضل ذلك، فإنه يمكن تصوير الأجسام حتى في الظلمة الحالكة، باستعمال أفلام فوتوغرافية حساسة بالنسبة إلى الإشعاع دون الأحمر.



ماكس بلانك

نشأة مفهوم الفوتون وتطوره

نشأة مفهوم الفوتون وتطوره

في منتصف القرن التاسع عشر، نجح الفيزيائي الإسكتلندي الفذ، جيمس كلارك ماكسويل، في توحيد جميع الظواهر الكهرومغناطيسية ضمن إطار أربع مجموعات من المعادلات التفاضلية التي تصف تغيّر المجالين الكهربائي والمغناطيسي في المكان والزمان بدلالة بعضهما، بمعنى أنه توصل إلى طريقة لوصف جميع الظواهر الكهرومغناطيسية بدلالة دالّتين متجهتين للمكان والزمان (دالّة المجال الكهربائي ودالة المجال المغناطيسي) تطيعان أربع مجموعات من المعادلات التفاضلية.

وقد اشتق ماكسويل من هذه المعادلات الأساسية معادلات تفاضلية أخرى دلّت على وجود تغيّرات دورية في المجال الكهرومغناطيسي (موجات كهرومغناطيسية) تنتقل من مكان إلى آخر بسرعة الضوء. وعليه، فقد اعتبر ماكسويل الضوء صنفاً من أصناف الموجات الكهرومغناطيسية. وقد دلّ التنظير والتجريب اللاحقان في هذا المضمار على صحة هذا التصور بما لا يدع مجالا للشك المعقول. فتعزّزت بذلك النظرية الموجية للضوء التي تنص على أن الضوء يسلك سلوك الموجات الجاهرية (الماكروسكوبية) المألوفة، من حيث إنه يبدي خواصاً موجية كالتداخل والحيود (انعطاف الأشعة الضوئية أو انحرافها عند الأطراف الدقيقة)، بالإضافة إلى الانكسار والانعكاس. وغدا من المستحيل تفسير الظواهر الضوئية باعتبار الضوء سيلاً من الدقائق الكلاسيكية التي تطيع قوانين نيوتن في الحركة (كما حاول نيوتن ومدرسته تفسيره في القرنين السابع عشر والثامن عشر).

ولكن الهيمنة المطلقة للنظرية الموجية الكلاسيكية لم تدم طويلاً بعد

ماكسويل. ففي مطلع القرن العشرين وجد العالم الألماني، ماكس بلانك، أنه لا يمكن تفسير توزيع الطاقة الكهرومغناطيسية على الترددات المختلفة في أطياف الإشعاعات الكهرومغناطيسية التي تبثّها وتمتصها المادة الصلبة، إلا بافتراض أن الذرات تمتص أو تبث الإشعاعات الكهرومغناطيسية بصورة متقطعة لا متصلة (في وحدات منفصلة عن بعضها)، وأن الطاقة المنبعثة أو الممتصة لا تتناسب ومربع اتساع الموجات الكهرومغناطيسية (كما تنص النظرية الموجية الكلاسيكية)، بل تتناسب وتردّد هذه الموجات. وهكذا، فقد بيّن ماكس بلانك أن الإشعاع الكهرومغناطيسي لا يسلك سلوك الموجات الكلاسيكية على النطاق الذري، بل يسلك سلوكاً مناقضاً لذلك وللفيزياء الكلاسيكية برمتها، فعيّن بلانك بذلك الحدود العامة للتصور الماكسويلي للضوء وغيره من الإشعاعات الكهرومغناطيسية. بيد أن بلانك حاول التلطيف من ثورية نظريته، فأيّد الرأي القائل أن السلوك الجديد لا يخص طبيعة المجال في حدّ ذاته، وإنما يخص عملتي البث والامتصاص فقط.

وقد دفع اكتشاف بلانك الثوري ألبرت آينشتاين إلى دراسة الخواص الإحصائية للإشعاع الكهرومغناطيسي حين يكون الإشعاع محصوراً في حيّز مغلق تحت ظروف الاتزان الحراري. وتبيّن لديه عام ١٩٠٥ أن هذا الإشعاع يسلك إحصائياً سلوك الغازات العادية تقريباً، بمعنى أنه يمكن النظر إحصائياً إلى هذا الإشعاع على أنه خضم من الدقائق المجهرية، تماماً كما ننظر إلى الغازات العادية على أنها خضم من الجزيئات المجهرية. وتبيّن لديه أيضاً أن الطاقة التي تحتويها كل دقيقة ضوئية تتناسب طرديا وتردّد الإشعاع، تماما كما تنص نظرية بلانك. وهكذا، فقد بيّن آينشتاين أن السلوك الجديدالكمي (تسمّى كل وحدة من الطاقة، يتم بثّها أو امتصاصها على نحو ما حددته نظرية بلانك، «كم طاقة») لا يقتصر على عمليتي البث والامتصاص، وإنما يتعلق بالطبيعة الجسْمية الكمية للمجال الكهرومغناطيسي نفسه. ثم بيّن آينشتاين في البحث ذاته الذي نشره عام ١٩٠٥ أنه يمكن بافتراضه ذاك أن يفسّر

بعض الظواهر التي كانت النظرية الكلاسيكية قد عجزت عن تفسيرها، مثل المفعول الكهروضوئي والكيفية التي تتغير بها الحرارة النوعية للفلزات مع درجة الحرارة. وقد أطلق على هذه (الدقائق الضوئية)، التي يتشكل منها المجال الكهرومغناطيسي الموجي، الفوتونات.

بيد أن السلوك الجاهري (الموجي الكلاسيكي) للضوء دلّ منذ البدء على أن الفوتونات ليست جسيْمات جاهرية تطيع قوانين نيوتين في الحركة كالتي نصادفها في حياتنا اليومية، بل إنها صنف من الجسيْمات ـ الموجات، ذلك أن الدقائق الجاهرية الكلاسيكية المألوفة مجتمعة لا تسلك مثل هذا السلوك.

وقد تلقّت نظرية الفوتون دعماً جديداً عام ١٩١٣ يوم نجح الفيزيائي الدنماركي، نيلز بور، في تفسير طيف غاز الهيدروجين تفسيراً مقدارياً دقيقاً بافتراضه أن كلاً من الزخم الزاوي والطاقة للإلكترون في ذرة الهيدروجين مكمىً Quantized (لا متصل)، وأن الذرة تبثّ فوتوناً ذا طاقة محددة كلما سقط الإلكترون من مستوى عالٍ للطاقة الى مستوى أدنى.

وظلّ الشك يراود الكثيرين من العلماء بصدد صحة نظرية آينشتاين المتعلقة بالفوتون حتى عامي ١٩٢٣ و ١٩٢٤، يوم نجح «كومبتون» Compton في تفسير تشتت أشعة إكس عن إلكترونات المواد بافتراض أن الإشعاع الكهرومغناطيسي ليس سوى خضم من الفوتونات، ويوم أفلح العالم الهندي «بوز» Bose في اشتقاق النتائج الأساسية التي توصل إليها بلانك من نظرية الفوتون. بعد ذاك، ترسخ مفهوم الفوتون في صميم وجدان الجماعة العلمية العالمية.

وفي العشرينات من هذا القرن، طوّر علماء بارزون، أمثال دي برولي الفرنسي وشرودنغر النمساوي وهايزنبرغ وبورن الألمانيين وديراك البريطاني ـ طوروا ميكانيكا جديدة (ميكانيا الكم) تختلف جذريا عن الميكانيكا النيوتونية الكلاسيكية وتصلح لوصف الظواهر الطبيعية وتفسيرها على النطاق الجزيئي والنطاق الذري (وإلى حد ما، النطاق النووي)، وتم اشتقاق مفهوم الفوتون

بوصفه نتيجة طبيعية لتطبيق قواعد هذه الميكانيكا الجديدة (القواعد الكمية) على المجال الكهرومغناطيسي. فالحق أن تطبيق القواعد الكمية على المجال الكهرومغناطيسي الكلاسيكي يحيل الأخير خضماً من الجسيْمات الكمية التي نطلق عليها اسم الفوتونات.

ولكن ما الذي يميز الفوتونات (وفق التصور المعاصر) عن الدقائق والجسيْمات الجاهرية الكلاسيكية التي تطيع قوانين نيوتن في الحركة؟

(أ) ليس للفوتون ثمة كتلة بالمعنى النيوتوني، فطاقته الحركية هي كتلته بالمعنى الآينشتايني، بمعنى أنه ليس ثمة فوتونات في حالة السكون. فالحركة تدخل في صميم وجود الفوتون، وسكونه بمثابة تلاشيه وانتفائه.

(ب) لا يتحرك الفوتون في الفراغ إلا بسرعة الضوء. فلا يمكن أن يتحرك الفوتون بأي سرعة أخرى.

(ج) ليس ثمة وسيلة (تجريبية كانت أو نظرية) للتمييز بين فوتون وآخر في نظام مغلق متعدّد الفوتونات.

(د) ليس ثمة حدّ لعدد الفوتونات التي يمكن أن تحتويها أي حالة دينامية، وذلك بعكس الإلكترونات (مثلاً) التي تطيع مبدأ باولي (مبدأ الاستثناء).

(هـ) يطيع الفوتون، شأنه في ذلك شأن غيره من الجسيْمات الكمية، مبدأ اللايقين الذي اكتشفه العالم الألماني، فرنر هايزنبرغ. ذلك أن خواص الفوتون الكمية، بما في ذلك طبيعته المزدوجة بوصفه جسيماً وموجة في آن، إنما تنبع من كونه يطيع هذا المبدأ. فالزيادة في دقة تحديد موضعه تتم على حساب الدقة في تحديد سرعته والعكس بالعكس. فإذا كان موضعه مجهولاً تماماً، تحدّد زخمه (أو سرعته) تحديداً كاملاً. عند ذاك يكون الفوتون أقرب إلى الموجة منه إلى الدقيقة.

والحقّ أن الفوتونات مجتمعة ما كانت لتسلك سلوك الموجات الكهرومغناطيسية الكلاسيكية لولا تمتع الفوتون بهذه الخواص المتميزة.

فلو كانت خواص الفوتون شبيهة بخواص الجسيْمات النيوتونية المألوفة، لما سلك الضوء مثلاً سلوك الموجات على النطاق الجاهري. وسنبين في مقالات لاحقة الكيفية التي تجتمع بها الفوتونات لتشكل الموجات الكهرومغناطيسية. وقد نبيّن أيضاً العلاقة الوطيدة التي تربط الفوتون بالقوى النووية من جهة، وبطبيعة التفاعل الكهرومغناطيسي من جهة أخرى.

الماء الثقيل

الماء الثقيل

كم كانت دهشة الحضور عظيمة في قاعة للمحاضرات في إحدى الجامعات المرموقة حين أسقط الأستاذ المحاضر قطعة من الجليد في كوب من الماء فلم تطفُ، بل إنها انسابت إلى القاع لتقبع هناك في ثقة واعتزاز متحدية خبرة الحضور اليومية. إذ، أليست كثافة الجليد أقل من كثافة الماء؟ فكم من مرة لاحظنا قطع الجليد البلورية تطفو على سطح الماء لهذا السبب؟ ما الذي حدث في هذه الحال، إذن؟

لم يكتفِ البروفيسور الخبيث بما فعل، بل إنه سحب القطعة «السحرية» من الكوب وجففها، ثم عرضها على الجمهور المندهش كي يفحصوها.

إنها لا تختلف البتة عن القطع المألوفة... لها برودة الجليد وصلابته. بل ها هي قد بدأت تنصهر بين أصابعهم تماماً كأي قطعة جليد أخرى. آه، لا بدّ، إذن، أن ثمة ثقلاً شفافاً في باطنها.

لم يهمس البروفيسور ببنت شفة. ها هو يضع القطعة في كوب آخر فارغ ونظيف ويغطيه. ثم إنه ينتظر حتى تنصهر القطعة في الكوب، فيعرضها على الجمهور مرة أخرى. حقاً أن ليس هناك أي ثقل شفاف فيها. ثم إن طعمها لا يختلف البتة عن طعم الماء المألوف. لا بد أنها قطعة من الماء المجمد، شأنها شأن غيرها من القطع الجليدية المألوفة. لماذا لم تطفُ إذن؟

تنحنح البروفيسور بغبطة ثم أردف قائلا: «كلّنا يعلم أن الماء مركّب سائل يتكون من عنصري الأكسجين والهيدروجين، وأن خواصه المرئية تنبع من ذلك الاتحاد الكيميائي. ونعلم أيضاً أن جزيء الماء، وهو أصغر جزء من الماء، يتكون من ذرتي هيدروجين وذرة أكسجين. بيد أن هذا القول، وإن كان

صحيحاً، إلا أنه تنقصه الدقة العلمية والشمول. ذلك أن هنالك نوعيْن من الهيدروجين في الطبيعة: الهيدروجين العادي الذي تتكون ذرته من بروتون وإلكترون، والهيدروجين الثقيل (الديوتيريوم) الذي تحتوي ذرته على نيوترون، بالإضافة إلى البروتون والإلكترون*. وهما مماثلان لبعضهما من حيث خواصهما الكيميائية لأن عدديهما الذريين متساويان. لكنهما مختلفان من حيث بعض خواصهما الفيزيائية ومن حيث خواصهما النووية. وعلى هذا الأساس، فإننا نتوقع آن يكون هناك نوعان من الماء في الطبيعة: الماء العادي والماء الثقيل، بحيث يكونان مماثلين لبعضهما من حيث الخواص الكيميائية جميعاً والكثير من الخواص الفيزيائية (لا كلّها). ويمكن التفريق بينهما على أساس الكثافة مثلا. فلمّا كانت كتلة النيوترون مماثلة لكتلة البروتون تقريباً، فإن كتلة ذرة الديوتيريوم تساوي ضعف كتلة ذرة الهيدروجين العادي تقريباً، ومن ثم فإن كتلة جزيء الماء الثقيل تفوق كتلة جزيء الماء العادي. وينعكس ذلك على الكثافة، حيث إن كثافة الأول تفوق كثافة الثاني. ولما كانت قطعة الجليد التي أسقطتها في الماء العادي ليست سوى كمية من الماء الثقيل المجمّد، فقد انسابت إلى القاع، كما رأيتم».

وقد نتساءل الآن، من أين حصل البروفيسور على الماء الثقيل؟ الحق أن أي كوب من الماء نشربه يومياً يحتوي على الماء الثقيل، ولكن بكميات ضئيلة جدا (حوالي جزيء ماء ثقيل لكل ٦٥٠٠ جزيء ماء عادي). وثمة طرق فيزيائية وكيميائية عديدة لفصل جزيئات هذا عن جزيئات ذاك، رغم قلة عدد الأولى.

بقي أن نسأل، ماذا يحدث لو أسقطت قطعة جليد عادي في كوب من الماء الثقيل؟ وماذا يحدث لو أسقطت قطعة جليد ثقيل في كوب من الماء الثقيل؟ ونترك الإجابة عن هذين السؤالين إلى القارى الكريم. ونأمل في أن نتناول طبيعة الديوتيريوم وخواصه النووية في مقالات لاحقة.

* ثمة نوع ثالث من الهيدروجين، هو التريتيوم الذي تتضمن ذرته نيوترونيْن، بالإضافة إلى البروتون والإلكترون. لكنه لا يتوفر في الطبيعة، فهو مشع ويتم تصنيعه في المختبر.

بنية تطوّر الفكر الفيزيائي

بنية تطور الفكر الفيزيائي

في أوائل القرن السابع عشر، تبلور نهج علمي تجريبي عام لدراسة ظواهر الطبيعة دراسة دقيقة، على يدي عالم إيطاليا الأكبر، غاليليو غاليلي. وقد طور غاليليو هذا النهج خلال محاولته تعزيز الشرح الثوري الذي أحدثه العالم البولندي، نيكولاس كوبرنيكوس، في الدراسات الفلكية. وكانت نتيجة تطبيق هذا النهج الجديد على الظواهر الحركية الأرضية أن تمكن غاليليو من اكتشاف القوانين الميكانيكية الأساسية التي تتحرك بموجبها الأجسام على النطاق الأرضي. وفي العصر ذاته، تمكن العالم الألماني الفذ، يوهان كبلر، من اكتشاف القوانين الأساسية التي تتحرك بموجبها الأجرام السماوية (الكواكب والأقمار).

ولم تمضِ بضعة عقود من الزمان حتى تبلور نهج نظري مناظر لدراسة المفاهيم العلمية وعلاقاتها على يدي العالم الانجليزي إسحق نيوتن، الذي طوّر هذا النهج من خلال محاولته توحيد قوانين الحركة الأرضية وقوانين الحركة السماوية في إطار نظري واحد.

وقد طوّع علماء أوروبا ورياضيّوها خلال القرنين الثامن عشر والتاسع عشر (أمثال: موبرتي، وأويلر، ولابلاس، ولاغرانج، وهاملتون، وجاكوبي، وغاوس، وكولم، وأمبير، وإرستيد، وفرَدي، وماكسويل، وفرينل، وينغ، وفراونهوفر) ـ أقول: طوّع أولئك العلماء والرياضيون هذين النهجين (التجريبي والتنظيري) للكشف عن الكثير من أسرار العالم الجاهري (الماكروسكوبي) ذي الأبعاد المألوفة، أعني ذلك العالم الذي يمتد في أبعاده مما يشاهد بالمجهر الضوئي إلى المجموعة الشمسية تقريباً. وقد استطاعوا بعد جهد

كبير أن يفسّروا الغالبية العظمى من الظواهر الطبيعية المألوفة لديهم (الحرارية، والضوئية، والكهربائية، والمغناطيسية، والحركية الواقعة ضمن نطاق المجموعة الشمسية، وما إلى ذلك) بدلالة قوّتين مجاليتين فقط، هما قوة الجاذبية والقوة الكهرومغناطيسية. بل، لقد بلغت الجرأة الفكرية عند بعضهم (ابرهام، لورنتس) أن حاولا اشتقاق وجود المادة وخواصها والمجال الجاذبي إياه من قوانين ماكسويل في الكهرومغناطيسية.

وفي الآن ذاته، تمكن العالم النمساوي، لودفيغ بولتسمان، من بيان أن النمط الذي تبديه قوانين الثيرموديناميكا (القوانين التي تصف السلوك العام - الحراري، والكهربائي، والمغناطيسي، وما إلى ذلك - للمادة والإشعاعات المختلفة على النطاق الجاهري) هو النمط الإحصائي، لا النمط الدينامي، بمعنى أنه لا يمكن تفسير هذه القوانين بدلالة قوانين نيوتن في الميكانيكا وقوانين ماكسويل في الكهرومغناطيسية فحسب، بل يتعين أيضاً اعتبارها علاقات إحصائية تعبر عن سلوك عدد هائل من الوحدات المجهرية المنفصلة عن بعضها (دقائق وجسيْمات) التي قد تتحرك كل منها وفق قوانين الميكانيكا والكهرومغناطيسية. ومن ناحية أخرى، فإن الأطياف الضوئية والحرارية المنبثقة من صميم المادة وغيرها من الإشعاعات دلّت، في ضوء نظرية ماكسويل في الكهرومغناطيسية والميكانيكا الإحصائية، وبشكل لا يدع مجالا للشك، أن للمادة تراكيب داخلية مجهرية معينة تحدّد في النهاية خواصها الجاهرية. وهكذا، فقد أشار تناسق القوانين والنظريات الكلاسيكية التي انبثقت عن دراسة العالم الجاهري المألوف لدى حواسنا، وأشارت صحتها وترابطها المنطقي، إلى حتمية وجود بنية داخلية مجهرية للمادة، وذلك في ضوء العديد من الشواهد والظواهر الجاهرية.

ولكن سرعان ما تبين للعلماء النظريين والتجريبيين على السواء أن هذا التركيب الداخلي لا يمكن تفسير وجوده واستقراره وبقائه وظواهره المختلفة بدلالة القوانين الكلاسيكية النيوتونية والماكسويلية. بل، لقد تبين لديهم أن

إمكانيته النظرية تتناقض تناقضاً عنيفاً مع القوانين الكلاسيكية العامة وأسسها المنطقية. فقد لاحظوا أن الكميات الفيزيائية لا تتغير على النطاق المجهري بالصورة التي تتغير بها على النطاق الجاهري. وعلى سبيل المثال، اكتشف العالم الألماني، ماكس بلانك، أن الطاقة لا تتغير على النطاق الذري بصورة متصلة، كما هو عليه الحال على النطاق الجاهري، بل يتم تغيّرها في قفزات وبصورة متقطعة لا متصلة. ولم يكد يمضي ثلاثة عشر عاماً على اكتشاف بلانك ذلك حتى اكتشف العالم الدنماركي، نيلز بور، أن الزخم الزاوي لا متصل أيضاً على النطاق الذري، بمعنى أنه يتغيّر في قفزات على ذلك النطاق. وهكذا، فقد تبيّن لديهم أن منطق العالم المجهري يناقض إلى حد كبير منطق العالم الجاهري، الأمر الذي اضطرهم إلى ابتكار شبكة جديدة من المفاهيم والعلاقات الدينامية تتناسب ومنطق الأحداث على النطاق المجهري. وسميت هذه الشبكة المفهومية الجديدة ميكانيكا الكم، لأنها تعتمد أساساً لها وجود الكم، وهو ذرة «الفعل» Action (حاصل ضرب الطاقة بالزمن). بذلك يكون منطق العالم الجاهري ممثلا بالقوانين الكلاسيكية قد أشار إلى حتمية نقيضه، أعني منطق العالم المجهري ممثلاً بالقوانين الكمية. وهذا مثل واضح على جدلية التطور العلمي.

وما كاد العقد الثاني من هذا القرن يشارف على الانتهاء حتى اكتملت وتكاملت صورة جديدة للتركيب المجهري للمواد التي اعتمدت ميكانيكا الكم الآنف ذكرها أساساً لها. ونحن اليوم نتصور المادة، كما توجد تحت الظروف الحرارية والكونية العادية، على شكل مجموعة مترابطة أو غير مترابطة من لبنات مجهرية أساسية هي الذرات. وتتكون الذرة من نواة موجبة الشحنة تشغل حيزا يكاد لا يذكر بالنسبة إلى حجم الذرة بوصفها كلاً، وإن كانت تتضمن الجزء الأكبر من كتلة الذرة. أما الشحنات السالبة (الإلكترونات) التي تساوي شحنتها شحنة النواة في العادة، فهي تتحرك حول النواة ضمن مستويات معينة للطاقة في حال غياب المؤثرات الخارجية القوية. ولا يجوز لها أن تكتسب أي

مقدار من الطاقة، بل هناك ثمة مقادير محددة للطاقة يجوز التحرك بموجبها، بمعنى أن طاقتها تتغير في قفزات وطفرات (أنها لا متصلة)، كما أسلفنا. هذا من ناحية. ومن ناحية أخرى، فإن الإلكترونات لا تتحرك ضمن مدارات محددة، كما هو الحال مع الأجسام الجاهرية. إذ إن طبيعة المادة والطاقة على النطاق الذري لا تسمح لنا بتحديد مدارات معينة، بل فقط بتحديد احتمال أن يكون الإلكترون في هذا الموقع او ذاك. إن نظرية الكم نظرية احتمالات بكل ما في الكلمة من معنى. ولقد تم تفسير الظواهر الأساسية المتعلقة بإلكترونات الذرة (متوسط حجم الذرة، خواصها الكيميائية، الأطياف التي تبثّها، تفاعلاتها مع المجالات المختلفة، وهلم جرا) أيما تفسير على هذا الأساس.

بيد أن خط التطور الذي فصلنا بنيته أعلاه ليس خط التطور الوحيد للفكر الفيزيائي، وإن كان خط التطور الرئيس. فثمة خطوط تطور مهمة أخرى تشابكت مع بعضها ومع الخط الرئيس لتشكل الهيكل الحالي للفكر الفيزيائي. ولسوف نتناول بعض هذه الخطوط الأخرى في مقالات مقبلة. ويكفي القول في هذه العجالة بأن تشابك خط التطور الذي أدّى إلى نظرية النسبية مع الخط الذي أدّى إلى ميكانيكا الكم والنظرية الذرية (الخط المبيّن في هذه المقالة) قد نجم عنه هيكل نظري مكين (نظرية المجال الكمي) مكّن العلماء من تفسير العديد من الظواهر النووية ودون النووية، وإن كان ما زال يجابه الكثير من المعضلات الأساسية والتناقضات الجذرية. وعلى أية حال، فإننا لا نعرف ما يخبئه القدر في مجال تطور هذا الهيكل النظري.

منطق التوحيد في علوم الطبيعة

معضلة التوحيد وتاريخها

من منّا لم يسمع بنظرية نيوتن في الجاذبية، تلك القوة التي أعيا سرّها أعتى العقول في عصر النهضة الأوروبية وألهب خيال حشد هائل من الشعراء والفلاسفة في أوروبا القرن الثامن عشر؟ ومن منّا بلغ فيه جنون العظمة أو التبلّد الفلسفي حدّ أن تفشل هذه القوة في إثارة الحيرة في نفسه، حتى في عصرنا الحاضر، عصر الفضاء؟ أفليس يتمّ تأثير القوى في تجربتنا اليومية في العادة عن طريق ملامسة الأجسام المادية لبعضها وتصادمها معاً؟ أتعجب إذن إن أثارت فكرة التأثير عـن بُعد (تأثير جسم على آخر لا يلامسه ولا يصطدم به) اهتمام الناس إلى هذا الحد؟

يتكلّم البعض منّا عن هذه القوة الغامضة بصفة غموضها مجرّد حدث تاريخي ولّى ومضى، يعكس قصور إدراك أسلافنا من العلماء والمشتغلين بالعلم، ومن ثم يشكل ظاهرة حضارية من ظواهر الماضي الغابر لا أكثر ، وكأنّي بنا قد توصلنا في عصرنا المتقدم هذا إلى حلّ لغز الجاذبية نهائياً. بيْد أن كلّ ما أفلحنا في إنجازه وتحقيقه في هذا المضمار في واقع الحال لهو تعميق اللّغز كيفياً وتضخيمه مقدارياً.

لقد جابه معاصرو نيوتن لغز قوة واحدة فقط من النوع الذي يؤثر عن بُعد (القوى المجالية)، أعني قوة الجاذبية التي بفعلها تنجذب الأجسام إلى بعضها. وتوصّل نيوتن إلى تحديد المفهوم الوصفي لهذه القوة عن طريق دمج قوانين الحركة الأرضية (قوانين غاليليو) بقوانين الحركة السماوية (قوانين كبلر) في إطار نظري واحد موحّد. وما لبث علماء القرن التاسع عشر أن جابهوا لغز قوة أخرى من هذا القبيل، هي القوة الكهرومغناطيسية التي حدّد

مفهومها الوصفي ومنطق أحداثها جيمس كلارك ماكسويل. أما علماء العصر الحالي، فهم يجابهون لغز أربع قوىً أساسية على الأقل من النوع الذي يؤثر عن بُعد (القوى المجالية). فبالاضافة إلى قوتي الجاذبية والكهرومغناطيسية الآنف ذكرهما، هناك القوة النووية الضعيفة المسؤولة عن بث إشعاع بيتا (الإلكترونات السريعة) من بعض أنوية الذرات. وهناك أيضاً القوة النووية القوية المسؤولة عن تلاحم البروتونات والنيوترونات معاً في النواة ضدّ قوى التنافر الكهربائية القائمة بين البروتونات. وتختلف القوتان النوويتان المذكورتان عن قوتي الجاذبية والكهرومغناطيسية، أولا من حيث إن تأثيرهما لا يتبدى إلا على النطـاق النووي، فهو لا يبرز البتة على النطاقين الجاهري المألوف والذري (وذلك بعكس الجاذبية والكهرومغناطيسية)، وثانياً من حيث إن تأثيرهما لا يقتصر على تغيير حركات الجسيمات والأجسام المادية (الجذب والتنافر)، بل إنه يتعدى ذلك إلى تحويل الجسيمات المجهرية إلى بعضها (ظاهرة تحلّل الجسيْمات المجهرية وتفاعلاتها مع بعضها). وثمة إمكانية نظرية لوجود قوى مجالية أخرى أشد تأثيراً وفتكاً من القوة النووية القوية ذاتها، مع أن هذه الأخيرة هي المسؤولة عن جهنم القنبلتين: الذرية والهيدروجينية.

اللغز إذن يزداد تعقيداً وتنوعاً، والغموض لايني يتعمق ويكتسب أبعاداً جديدة. ماذا على المرء أن يفعل بوصفه رجل علم يسعى إلى تفسير المشاهدات تفسيراً علمياً شافياً وربطها ضرورياً ببعضها، إزاء وضع معقّد كالذي رسمنا خطوطه العريضة أعلاه؟ ما الأركان الأساسية لمثل ذلك التفسير؟ ما الذي يجب أن يتوفر حتى يكون التفسير المقترح تفسيراً علمياً شافياً؟... التبسيط المفهومي والتوحيد البنيوي: ذانك هما جوهر التفسير العلمي الشافي. ثمة حاجة بشرية جذرية، تنبع من إدراك دفين للانهائية المادة، إلى إيجاد هياكل مفهومية تتوحد ضمنها قوى الطبيعة وتظهر من خلالها أشكالاً متعددة لجوهر واحد. هذا ما فعله علماء القرن التاسع عشر بصدد الطاقة حين بيّنوا أن الضوء والحرارة والحركة والصوت والكهربائية والمغنـاطيسيـة وغيرهـا ليسـت

سوى أشكال مختلفة لجوهر واحد هو الطاقة. وهذا ما يحاول تحقيقه علماء النصف الثاني من القرن العشرين بصدد قوى الطبيعة.

بيد أن محاولة توحيد قوى الطبيعة ليست وليدة اليوم. فقد حاول علماء القرن الثامن عشر والنصف الأول من القرن التاسع عشر اختزال جميع القوى والظواهر المجالية التي كانت معروفة لديهم إلى نماذج مادية مألوفة. وبصورة خاصة فقد حاولوا تفسيرها بدلالة أنماط السلوك التي تبديها الموائع والسوائل المادية المألوفة، فكان أن تصوروا الكهربائية والمغناطيسية والحرارة على شكل موائع أثيرية ذات خواص مادية معينة، ثم إنهم تصوروا الضوء على شكل موجات وذبذبات في أثير عجيب السمات والخواص يملأ كل ركن من أركان الكون الفسيح. وحاول البعض منهم تفسير فعل المجال الجاذبي بدلالة الاضطرابات الحركية التي تقع في ذلك الأثير وبدلالة موائع أثيرية افترضوا أنها تنبعث من المادة وتؤثر فيها.

لكن تلك المحاولات الساذجة عجزت عن مواكبة ما كان يستجدّ من تطورات سريعة وما كان يتحقق من اكتشافات مهمة في علوم الطبيعة إبان القرن التاسع عشر. وبصورة خاصة فقد فشلت في تفسير عمليات التحول بين الأنماط المجالية المختلفة. والحقّ أن المفهوم الشامل للطاقة، الذي يشمل الضوء والحرارة والحركة والجاذبية والكهربائية والمغناطيسية والتحولات الكيميائية، جاء بديلاً نقيضاً لتلك المحاولات فحلّ محلّها وأزال الحاجة إلى نماذجها الأثيرية. وقد انهار آخر صرح لهذه المحاولات في مطلع القرن العشرين على يدي ألبرت آينشتاين الذي بيّن في نظريته في النسبية الخاصة أن مفهوم الأثير يشكّل عبئاً على علم الحركة لا شرطاً مفهومياً ضرورياً من شروطه.

ولئن كان منطق تلك المحاولات هو اختزال الظواهر المجالية جميعاً إلى المادة في أشكالها المألوفة، فقد كان منطق المحاولات التي تلتها هو اختزال هذه الظواهر والمادة في أشكالها المألوفة إلى مجال واحد معروف السمات والخواص. وهكذا، فقد جاءت المحاولات التالية نقيضاً من حيث المنطق

لنظريتها الأولى. ففي نهاية القرن التاسع عشر، حاول بعض العلماء النظريين، وفي مقدمتهم لورنتس وابرهام، اختزال المادة نفسها والمجال الجاذبي إلى المجال الكهرومغناطيسي الذي حدّد بنيته العامة على النطاق الجاهري العالم النظري الاسكتلندي، جيمس كلارك ماكسويل، بمعنى اشتقاق الكميات الأساسية التي يتم وصف المادة والمجال الجاذبي بموجبها بدلالة المجال الكهرومغناطيسي كما حدّده ماكسويل. ومع أن هذه المحاولة لم تلقَ الا نجاحاً محدوداً جداً في مراحلها الأولى، ثم إنها باءت بالفشل في نهاية المطاف، إلا أنها على جانب كبير من الأهمية التاريخية، وذات قيمة علمية عظيمة، وذلك لأنها خلقت الجو النظري المناسب في مطلع القرن العشرين لخلق نظريتي النسبية والكم اللتين يرتكز عليهما الفكر الفيزيائي الحديث. فالحقّ أن هذه المحاولة قد أدّت دوراً مهماً في حفز آينشتاين إلى البحث عن وسيلة لتوحيد جميع مظاهر الوجود ضمن إطار نظرية النسبية العامة، وفي حفز دي برولي إلى إيجاد طريقة لوصف مسارات الجسيمات بدلالة المجالات الموجية. ثم إنها حفزت شرودنغر إلى البحث عن وسيلة لوصف سلوك المادة على النطاق الذري بدلالة معادلات موجية عامة.

محاولات التوحيد في القرن العشرين

قلنا في البند السابق إن هناك ثمة أربع قوى مجالية أساسية في الطبيعة، هي: القوة الجاذبية، والقوة الكهرومغناطيسية، والقوة النووية القوية، والقوة النووية الضعيفة. وقلنا إن التنظير العلمي يطمح بطبيعته إلى توحيد قوى الطبيعة جميعاً ضمن إطار نظري مفهومي واحد، بمعنى أن التفسير العلمي يقتضي ذلك بوصفه تفسيراً ناجماً عن فعل منهجية قادرة على استنطاق الموضوع لكونها تعكس في بنيتها الداخلية مادية الموضوع (أعني المنهجية العلمية).

بيْد أن التوحيد في علوم الطبيعة مفهوم واسع يحوي بين ثناياه أنماطاً فكرية متعددة. ثم إننا أوضحنا أن محاولات توحيد قوى الطبيعة ليست وليدة اليوم، بل إنها بدأت بمولد العلم ذاته. ففصّلنا منطق المحاولات التي تمّت في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، والتي اتسمت بطابع اختزالي (إما اختزال الظواهر المجالية جميعاً إلى نماذج مادية مألوفة، أو اختزالها والمادة إلى مجال واحد معروف ومحدّد السمات).

أما هذا البند والذي سيليه، فسنفردهما لبحث محاولات التوحيد التي جرت وتجري في القرن العشرين، والتي تدور في تنوعها حول محورين نظريين رئيسيْن: نظرية النسبية العامة، ونظرية المجال الكمي. وبصورة خاصة، فإننا سنفرد هذا البند (الثاني) لتفصيل منطق الخط الأول النابع من النسبية العامة، ومن ثم، فإننا سنرجيء تناول الخط الثاني النابع من نظرية المجال الكمي إلى البند التالي (الثالث).

لسنا نبالغ إن قلنا إن أكثر محاولات التوحيد طموحاً هي المحاولة الجبارة التي نفّذها ألبرت آينشتاين ضمن إطار نظرية النسبية العامة، تلك النظرية التي

أرسى آينشتاين قواعدها عامي ١٩١٥، ١٩١٦. بل إن النظرية المذكورة إياها ليست سوى ثمرة نجاح آينشتاين في توحيد قوة الجاذبية مع القوى القصورية (مثل القوة الطاردة المركزية، وقوة كوريوليس) ضمن إطار واحد وبدلالة الخواص الهندسية لما يسمى الزّمكان (الزمان ـ المكان). وهذا الأخير هو فضاء رباعيّ البعد يتوحّد من خلاله المكان (بأبعاده الثلاثة) بالزمان. وقد استنتجه العالم الألماني «منكوفسكي» في نهاية العقد الأول من القرن العشرين من كينماتيكا نظرية النسبية الخاصة التي كان قد أرسى قواعدها ألبرت آينشتاين عام ١٩٠٥. في تلك السنة الحاسمة، بين آينشتاين أن الكميات الدينامية الأساسية (الطول والفترة الزمنية والكتلة) ليست جوهراً ثابتاً أبدياً ومطلقاً، بل هي علاقات مادية تتغير مع الحالة الحركية (من مرجع إسناد إلى آخر). فلا جوهر مطلقاً سوى سرعة الضوء في الفراغ. وقد ترجم منكوفسكي هذا التبصّر الآينشتايني إلى لغة الهندسة، فتبيّن لديه أن الزمن ليس مجرّد وسط تتغير من خلاله الأبعاد المكانية وغيرها من الكميات الأساسية، ولا مجرّد مقياس لتغيرها، بل إنه بُعد هندسيّ قائم على قدم وساق مع الأبعاد المكانية الثلاثة، بمعنى أن هذه الأخيرة لا تكتمل هندسياً من دونه، وأنه، من ثم، يرتبط بها ارتباطاً عضوياً في إطار واحد. وما هذا الإطار سوى الزّمكان الرباعيّ البُعد. فالعلاقة الهندسية القائمة بين البُعد الزمني وكل من الأبعاد المكانية الثلاثة مماثلة للعلاقة الهندسية القائمة بين بُعد مكاني وآخر. بذلك، فإن المكان بأبعاده الثلاثة ليس سوى مقطع للزّمكان، وليس له وجود هندسي مستقل عن الزمان. وقد تمكن منكوفسكي من اشتقاق العلاقات الأساسية في كينماتيكا النسبية الخاصة بافتراض أن الطول الرباعي الزمكاني (أو ما يسمى الفترة الزّمكانية في الأدبيات الفيزيائية) لا يتغير بالنسبة إلى الدوران في الزّمكان، بمعنى أن هذا الطول يحافظ على مقداره ثابتاً، عند دورانه حول محور ثابت في الزمكان.

وقد طوّر آينشتاين مفهوم الزمكان بصورة نوعية حين بيّن أن هندسة الزمكان

ليست بالضرورة الهندسية الإقليدية المألوفة (نسبة إلى الرياضي الإغريقي، إقليدس) ، بل إن الزمكان قد يكون منحنياً (يطيع هندسة لا إقليدية) .وهذا بالضبط هو الأساس الرياضي لنظرية النسبية العامة. وقد أفلح آينشتاين في تحديد ماهية قوة الجاذبية والقوى القصورية وفي تفسير خواصها على اعتبار أنها مقياس لدرجة انحناء الزمكان وانعكاس لهذا الانحناء. بل، واستطاع أيضاً تفسير الظواهر الجاذبية التي عجزت عن تفسيرها نظرية نيوتين في الجاذبية، كما استطاع التنبؤ بالعديد من الظواهر التي اكدتها التجارب الدقيقة فيما بعد. ولم يكن التوحيد الذي حققه آينشتاين بهذه النظرية العظيمة، والفائقة الجمال، عملية اختزال، فهو لم يختزل قوة الجاذبية والقوى القصورية إلى الخواص الهندسية للزمكان بقدر ما طوّر خواص الزمكان حتى تتمكن من استيعاب الظواهر المجالية على اختلاف أنواعها.

وقد نبعت سلسلة كاملة من محاولات توحيد القوى من منطق النسبية العامة الآينشتايني ذاك. فما برح الفيزيائيون النظريون، منذ مطلع العشرينات وحتى يومنا هذا، يحاولون توسيع إطار الزمكان، إما من حيث توسيع إمكاناته الهندسية الداخلية أو من حيث زيادة عدد أبعاده أو كلاهما، لكي يتسنى له احتواء القوة الكهرومغناطيسية والمادة ذاتها، وربما القوتين النوويتين أيضاً، وذلك بالإضافة الى قوة الجاذبية التي نجح في احتوائها إلى حد بعيد بحق. ففي نهاية العقد الثاني من القرن العشرين، حاول الرياضي الألماني، هرمان فيل، اشتقاق المجال الكهرومغناطيسي من هندسة الزمكان عن طريق توسيع مفهوم التوازي الهندسي في الزمكان. بيد أن غموض التعليل الفيزيائي لمحاولته الرياضية تلك حال دون قبولها من قبل الجماعة العلمية العالمية، برغم النجاحات الرياضية التي حققتها المحاولة. وفي العشرينات من هذا القرن، أفلح العالمان الأوروبيان، كالوتزا وكلاين، في اشتقاق المجال الكهرومغناطيسي بصورة مقبولة رياضياً وفيزيائياً من الزمكان بعد أن زادا عدد أبعاده ليصبح خماسي البعد. وقد أهملت هذه المحاولة الفذة خلال عقدي الثلاثينات

والأربعينات من هذا القرن، بيد أنه قد تم إحياؤها مؤخراً (منذ نهاية الخمسينات). وتجري المحاولات حالياً لاشتقاق الجسيمات الأساسية والقوتين النوويتين المؤثرتين على نطاقها من هندسة هذا الفضاء الخماسي البعد.

ومن جهة أخرى، فقد حاول آينشتاين ومعاونوه في العشرينات والثلاثينات من هذا القرن توحيد الظواهر المادية والمجالية برمتها بافتراض بضعة مبادىء كونية شاملة، وترجمتها رياضياً بدلالة البنية الأساسية لهندسة الزمكان، ومن ثم اشتقاق وجود المادة والمجالات الرئيسة والقوانين الأساسية في ميكانيكا الكم. وهذه المحاولة، بلا ريب، بلغت أوج الطموح العلمي. فلا عجب إذن أن فشل آينشتاين في اشتقاق الوجود المادي بوساطتها، وان ظلَّ مؤمناً بجدواها وظلّ يعمل ضمن إطارها حتى وفاته في مطلع الخمسينات. ومع أن خط التوحيد هذا لم يثبت فاعليته في مجال التنبؤ والتجريب حتى الآن، ومن ثم فشل في النفاذ إلى قلب الممارسة العلمية المعاصرة فظل على هامش هذه الممارسة، إلا أن نجمه قد أخذ في الصعود من جديد منذ نهاية الستينات.

بيد أن خط التوحيد الذي أثبت حيويته وفاعليته بجلاء في مجال التجريب والتنبؤ الدقيق، والذي جذب من ثم إليه اهتمام العديد من خيرة العقول العلمية، لهو الخط النابع من تطبيق ميكانيكا الكم على المجالات، والذي سنتناوله ببعض التفصيل في البند الثالث من هذه المقالة.

نظرية المجال الكمي

قلنا في نهاية البند الثاني من هذه المقالة إن خط التوحيد الذي أثبت حيويته وفاعليته بحق في حقل التجريب ومجال التنبؤ الدقيق، والذي جذب من ثم إليه اهتمام العديد من خيرة العقول العلمية، لهو الخط النابع من تطبيق قواعد ميكانيكا الكم على المجالات الأربعة الأساسية في الطبيعة. والحق أن هذا التطبيق لم يكن بالأمر الهيّن ولا بالعملية السريعة. فقد امتدّ تنفيذه منذ نهاية العشرينات وحتى وقتنا الحاضر. وهو لم يكتمل بعد في أي صورة من الصور.

وقد كانت حصيلة السنوات الطوال لهذا التطبيق الشائك صورة جديدة متشابكة للقوى الأساسية تختلف نوعياً وجذرياً عن نظيرتها الكلاسيكية. وإننا لنوجز معالم هذه الصورة المدهشة بالنقاط التالية، متوخين من ذلك إعطاء فكرة عامة عن منطق الفكر الفيزيائي الحديث، لا أكثر:

(أ) ليس المجال، في واقع الحال، سوى خضم من الجسيمات الكمية المجهرية. فهي الفوتونات (التي تناولناها في مقالة سابقة) في حال المجال الكهرومغناطيسي، وهي البيونات **Pions** في حال القوة النووية المؤثرة بين البروتونات والنيوترونات في أنوية الذرات، وهي الغرافيتونات **Gravitons** في حال المجال الجاذبي، وهي الغلُونات أو الصمغيّات **Gluons** في حال القوة النووية القوية الفاعلة في داخل كل من البروتون والنيوترون (بين مكوناته)، وأخيراً وليس آخراً، فهي ما يسمى جسيمات (**W**) في حال القوة النووية الضعيفة. ولسوف نتحدث عن هذه الجسيمات المجالية ببعض التفصيل في مقالات لاحقة.

(ب) تتم التفاعلات المجالية بين الجسيمات المجهرية دون النووية عن طريق تبادل هذه الجسيمات الكمية المجالية بين بعضها. فمثلاً ترتبط الإلكترونات بالنواة عن طريق تبادل الفوتونات، وترتبط البروتونات والنيوترونات معاً في أنوية الذرات عن طريق تبادل البيونات. كذلك، فإن مكوّنات البروتون ترتبط معاً عن طريق تبادل الصمغيات، وهلم جرّا. (بل، يمكن القول أيضاً ان الأرض ترتبط بالشمس عن طريق تبادل الغرافيتونات).

(جـ) إن القوى على النطاق النووي لا تقصر فعلها على تغيير الحالة الدينامية للجسيمات دون النووية، بل إنها تعمل أيضاً على تحويل هذه الجسيمات إلى بعضها. وعلى سبيل المثال فإن تبادل الصمغيات بين مكونات البروتون يحوّل هذه المكونات إلى بعضها في أغلب الأحيان.

(د) ثمة مجموعة من قوانين الحفظ تحدّد التفاعلات الممكنة بين الجسيمات دون النووية (الإلكترونات، والبروتونات، والنيوترونات، والفوتونات، والكواركات، والبيونات، والميونات، والنيوترينوات، وما إلى ذلك). فهنالك قانون حفظ الطاقة، وقانون حفظ الزخم الخطي، وقانون حفظ الزخم الزاوي، وقانون حفظ الشحنة الكهربائية، وقانون حفظ عدد الباريونات Baryons، وقانون حفظ الشحنة النووية القوية (الشحنة اللونية، كما يسمونها)، وما إلى ذلك.

(هـ) تبيّن لدى العلماء النظريين أن قوانين الحفظ هذه تعكس مبادىء تناسق عامة وتنبع منها، بمعنى أن الأنظمة المادية تملك بصورة عامة خواصاً تناسقية تتمظهر في شكل قوانين حفظ وفي أشكال أخرى أيضاً. والتناسق يفيد الترتيب والتكرار. وينطوي التكرار على ثبات ولا تغير بالنسبة إلى عملية أو عمليات معينة تتعلق بالنظام المتناسق. فالشكل الدائري مثلاً كامل التناسق بالنسبة إلى الدوران. فهو لا يتغيّر البتة إذا أدرناه حول محور عمودي عليه ويمرّ في مركزه، بغض النظر عن زاوية

الدوران. أما المربع، فإنه يملك بعض الخواص التناسقية بالنسبة إلى الدوران، لكنه ليس بكامل التناسق. فالدوران يغيّره بصورة عامة. فالحق أن المربع لا يبقى على حاله إلا بالنسبة إلى الدوران بزاوية قائمة أو بعدد صحيح من الزوايا القائمة. بذلك، فإن نمط تناسق المربع يختلف اختلافاً نوعياً عن نمط تناسق الدائرة. وبصورة عامة، فإنه يمكن تحديد الأشكال الهندسية بدلالة خواصها التناسقية.

وكما أسلفنا، فقد وجد العلماء النظريون علاقة رياضية عميقة الجذور بين التناسق وقوانين الحفظ. ووجدوا أن بعض قوانين الحفظ، مثل حفظ الطاقة والزخم الخطي والزخم الزاوي، يعكس الخواص التناسقية الأساسية للزمكان وينبع منها. أما الباقي فيعكس خواصاً تناسقية داخلية للمادة تحدّد كينونة المادة على النطاق النووي. وعلى سبيل المثال، فإن قانون حفظ الطاقة يعكس لا تغيّر الأنظمة المادية المغلقة بالنسبة إلى عملية الانتقال من لحظة زمنية إلى أخرى تفصلها عن الأولى فترة زمنية اختيارية Arbitrary. أما قانون حفظ الزخم الخطي، فيعكس اللاتغيّر بالنسبة إلى الانتقال عبر المكان. ويعكس قانون حفظ الزخم الزاوي اللاتغير بالنسبة إلى الدوران. أما قوانين حفظ الشحنات على اختلاف أنواعها، فتعكس خواصاً تناسقية داخلية للمادة.

(و) اكتشف النظريون أنه يمكن اشتقاق القوة الكهرومغناطيسية، بوصفها مجالاً وجسيماً في آن، من مبادىء التناسق الداخلية المذكورة آنفاً. إذ تبيّن أن وجود المجال الكهرومغناطيسي إنما ينبع من كون نمط معين من الأنظمة المادية يطيع مبدأ التناسق الداخلي المرتبط بقانون حفظ الشحنة الكهربائية في كل نقطة من الزّمكان. وبعبارة أخرى، فإن النمط المعني من الأنظمة المادية لا يطيع مبدأ التناسق ذاك، ومن ثم لا يطيع قانون حفظ الشحنة الكهربائية، إلا إذا كان مرتبطاً بمجال له ماهية المجال الكهرومغناطيسي وخواصه. ولا نبالغ إن قلنا إن هذه النتيجة النظرية

تضاهي بجمالها أجمل ما أبدعه الخيال الإنساني من أعمال فنية.

وإذا أهملنا كتل الجسيمات فإن مبدأي التناسق الداخلي المرتبطين بقانوني حفظ الشحنات النووية الضعيفة والأخرى القوية يقودان بصورة طبيعية وحتمية إلى المجالين النوويين الضعيف والقوي. بيد أن هذين المجالين يفوقان المجال الكهرومغناطيسي تعقيداً بصورة نوعية، وذلك:

(١) لأن التفاعلات في كليهما لا تتم بتبادل نوع واحد فقط من الجسيمات المجالية، كما هو الحال مع المجال الكهرومغناطيسي، بل تتم بتبادل عدة أنواع.

(٢) لأن أحدهما (المجال النووي القوي) لا يرتبط بشحنة (لونية) واحدة بل يرتبط بشحنتين من هذا القبيل.

(٣) لأن الجسيمات المجالية المسؤولة عن انتقالها بين الجسيمات الأولية المتفاعلة معاً تحمل بصورة عامة الشحنات النووية التي تولدها، وذلك بعكس الفوتونات (حاملة التفاعل الكهرومغناطيسي) التي لا تحمل شحنات كهربائية.

والحق أن الخاصية الثالثة هي المسؤولة عن التماسك المذهل الذي يبديه البروتون. فلولا كون الصمغيات تحمل شحنات نووية لونية، لأمكن تفتيت البروتون بيسر وسهولة نسبياً.

محاولة الأستاذ عبدالسلام
(القوة الكهروضعيفة)

في البند السابق (الثالث) من هذه المقالة، فصّلنا الملامح العامة والمحاور المفهومية الأساسية للتصور الكمي الحديث للقوى المجالية الأربع المعروفة، وذكرنا أن النظريين قد تمكنوا من اشتقاق القوة الكهرومغناطيسية من مبدأ تناسق داخلي عام يرتبط بقانون حفظ الشحنة الكهربائية.

وفي هذا البند (الرابع) سنتناول محاولات التوحيد الرئيسة التي تمت مؤخراً ضمن إطار نظرية المجال الكمي الذي فصّلنا بنيته في البند السابق.

لم يتمكن النظريون بادىء ذي بدء من إيجاد وسيلة مقنعة لتوحيد القوى الثلاث الأساسية الفاعلة على النطاق النووي (الكهرومغناطيسية والقوتين النوويتين) ضمن إطار نظرية المجال الكمي، وذلك نظراً إلى الاختلافات البيّنة (والتي تكاد تكون جذرية) بينها، وخصوصاً فيما يتعلق بمبادىء التناسق وقوانين الحفظ التي تطيعها هذه القوى. ذلك أن ما ينسجم من مبادىء تناسق وقوانين حفظ مع هذه القوة لا ينسجم بالضرورة مع تلك. أو هذا، على الأقل، ما بدا لدى النظريين في الستينات من هذا القرن. فبدا وكأنه ليس ثمة من سبيل إلى توحيد هذه القوى.

وعلى سبيل المثال، فإن القوتين النوويتين تتميزان عن القوة الكهرومغناطيسية (وقوة الجاذبية أيضاً) من حيث مدى فعلها وتأثيرها. إذ فيما يمتدّ مدى تأثير القوة الكهرومغناطيسية إلى اللانهاية، فإن مدى تأثير القوة النووية القوية لا يتجاوز $١٠^{-١٣}$ سم. أما مدى تأثير القوى النووية الضعيفة، فإنه لا يتجاوز $١٠^{-١٥}$ سم. كذلك، فإن ثمة اختلافات جوهرية بين هذه

القوى من حيث شدة تأثيرها ضمن مدى فعلها. فالقوة النووية الضعيفة تكاد لا تذكر بالنسبة إلى القوة الكهرومغناطيسية من حيث الشدة. وإذا أردنا ادخال قوة الجاذبية في الموضوع، نقول إن فعلها لا يتبدّى البتة على النطاق النووي، فهي أضعف من أن تذكر حتى بالنسبة إلى القوة النووية الضعيفة. بيد أن القوة الكهرومغناطيسية إياها تتضاءل بصورة فظيعة أمام القوة النووية القوية. وأكبر دليل على ذلك أن نواة الذرة تظلّ متماسكة بقوة هائلة على الرغم من قوة التنافر الكهربائية بين البروتونات الموجبة الشحنة.

ومن ناحية أخرى، فيما تطيع القوتان الكهرومغناطيسية والنووية القوية مبدأ التناسق المتعلق بتكافؤ اليمين واليسار (أو الشيء وانعكاسه في مرآة) في المكان، فإن القوة النووية الضعيفة لا تنسجم وهذا المبدأ، بمعنى أنها تفرّق بصورة جليّة بين اليمين واليسار. والحق أنه ثمة مبادىء تناسق وقوانين حفظ أخرى تنسجم مع هذه القوة، لكن لا تنسجم مع تلك، وإن كان المجال ههنا لا يسمح لنا بتناولها.

ويدل قصر مدى القوة النووية الضعيفة على أن الجسيمات المجالية التي تنقلها في التفاعلات النووية (جسيمات W التي ذكرناها في البند السابق) تملك كتلاً كبيرة نسبياً (بالنسبة إلى كتلة البروتون). بيْد أن مبادىء التناسق الداخلي المرتبطة بقوانين حفظ الشحنات المجالية لا تنسجم ومثل تلك الجسيْمات. فهذه المبادىء لا ترتبط إلا بالمجالات اللانهائية المدى والعديمة الكتلة، كما بيّن العالمان النظريان «يانغ» و «ملز».

كيف السبيل إذن إلى التوفيق بين القوة النووية الضعيفة ومبدأ تناسقها الداخلي من جهة، وبينها والقوى الأخرى من جهة ثانية؟

في الستينات، وبخاصة في النصف الثاني منها، بدأ يتكشف لدى العلماء أن العلة لا تكمن في القوى ذاتها، وإنما تكمن في الفراغ الذي يتم فيه فعل القوى. ذلك أن القوى في حدّ ذاتها تنسجم ومبادىء التناسق قاطبة انسجاما «كليا»، ومن ثم فهي لا تختلف جوهريا عن بعضها كما قد يبدو للوهلة

الأولى. بيْد أن تفاعلها مع الفراغ يقود إلى انحراف بعضها عن بعض مبادىء التناسق، ومن ثم إلى تمايزها عن بعضها. ذلك أن الفراغ على النطاق دون النووي لا يعني العدم، بل يعني الحدّ الأدنى للمجال المعني. فهو يزخر بالحركة و «الحياة»، ويتفاعل مع الجسيْمات والقوى وكأنه قوة قائمة في ذاتها. ويعود الفضل الرئيس في اكتشاف أهمية الفراغ في هذا المضمار إلى العالم الإسكتلندي هغز Higgs، مع أن العالِم العظيم هايزنبرغ Heisenberg كان قد ألمح إلى ذلك منذ الخمسينات.

وفي نهاية الستينات، تمكن كلّ من العالمين الأميركيين، غلاشو وواينبرغ، والعالم الباكستاني، عبد السلام، من توحيد القوة النووية الضعيفة والقوة الكهرومغناطيسية توحيداً جزئياً ضمن إطار نظري واحد، على أساس ما اكتشفه هغز وغيره بصدد الفراغ. ذلك أنهم، بادىء ذي بدء، تصوروا القوتين الكهرومغناطيسية والنووية الضعيفة بمعزل عن فعل الفراغ، فجرّدوا بذلك الجسيمات التي تحمل القوة النووية الضعيفة من كتلها، مدخلين إياها ضمن نطاق مبادىء التناسق الداخلي، ومزيلين بذلك الحواجز الفاصلة بينها وبين القوة الكهرومغناطيسية. ثم إنهم ابتدعوا مبدأ تناسق داخلي عريض اشتقوا منه مجالاً معقداً يشكل المجال النووي الضعيف ثلاثة من اركانه، فيما يشكّل المجال الكهرومغناطيسي ركنه الرابع. وبعبارة أخرى، فقد اشتقوا منه أربعة جسيمات مجالية عديمة الكتلة، هي W^+ الموجبة الشحنة الكهربائية، W^- السالبة الشحنة، Z° المتعادلة الشحنة، والفوتون المتعادل الشحنة. وتسمّى الجسيمات الثلاثة الأولى «الضعاف» Weakons، لأنها تحمل القوة النووية الضعيفة. بعد ذلك، فإنهم أدخلوا الجسيمات الأربعة هذه في تفاعل مع الفراغ. ولمّا كان الفراغ ينحرف عند مسافة معينة عن مبدأ التناسق الداخلي المعني، فإنه يفرز جسيمات أخرى عديمة الكتلة (تسمى جسيمات هغز) لا تلبث أن «تلتهمها» الجسيمات الضعاف (كما عبر عن العملية الأستاذ عبد السلام) مكتسبة بذلك كتلاً كبيرة نسبياً. إذ تكتسب كل من W^+، W^-، بهذه

الطريقة، كتلة تقارب ثمانين مرة قدر كتلة البروتون، فيما تكتسب Z° كتلة تقارب تسعين مرة قدر كتلة البروتون. أما الفوتون فيبقى عديم الكتلة.

هكذا تفسّر النظرية تمايز القوتين النووية الضعيفة والكهرومغناطيسية عن بعضهما. فهما تتواحدان بصورة جليّة من حيث انسجامهما مع مبادىء التناسق وقوانين الحفظ من جهة، ومن حيث تشابه الجسيمات المجالية التي تنقلهما من جهة أخرى، وذلك عند مدى ١٠^-١٥ سم أو أقل. لكنهما تتمايزان عن بعضهما بصورة جلية أيضاً بعد هذا المدى، وذلك بفعل طبيعة تفاعلهما مع الفراغ. بذلك نراهما تتوحدان لا من خلال اختزال واحدة إلى الأخرى (كما حاول لورنتس وأبر هام أن يفعلا في حال المادة والقوتين الجاذبية والكهرومغناطيسية)، بل من خلال التقائهما عند مدى في غاية القصر تفقدان عنده تمايزهما عن بعضهما.

بيْد أن البناء النظري وحده لا يكفي. فلا تسمّى النظرية نظرية علمية إلا إذا انطوت على تنبؤات يمكن التحقق من صحتها تجريبياً. لكن هذه المشكلة لا تعترض طريق نظرية سلام ـ واينبرغ ـ غلاشو. فالحق أن هذه النظرية تزخر بالتنبؤات المهمة. فقد تنبأت النظرية مثلاً بوجود تفاعلات (تيارات) نووية ضعيفة متعادلة الشحنة الكهربائية، وهي التيارات التي تنجم عن انتقال Z° من جسيم إلى آخر، وفق ما تراه النظرية. وكان الظن السائد قبل وضع هذه النظرية أن التفاعلات النووية الضعيفة جميعاً تتضمن انتقال الشحنات الكهربائية، ومن ثم تكون مصحوبة بتحوّلات نووية، بمعنى أن إمكانية التيارات الضعيفة المتعادلة لم تكن مطروحة على بساط البحث التجريبي قبل وضع هذه النظرية. وبعبارة أخرى، قد تنبأت النظرية أن التفاعل الكهرومغناطيسي يكون مصحوباً، وبنسب ضئيلة متفاوتة، بتيار نووي ضعيف متعادل. ولمّا كانت القوة النووية الضعيفة تفرّق بين اليمين واليسار، بعكس القوى الأخرى، كان هذا التنبؤ يعدل القول ان التفاعلات، التي تتضمن المجال الكهرومغناطيسي بصورة رئيسة ولا تتم فيها تحوّلات نووية، يتعين أن تفرق بين اليمين واليسار. وهذا بالضبط ما اثبتته التجارب التي أجريت في

نهاية السبعينات. وكانت أولى التجارب الحاسمة في هذا الصدد التجربة التي أجراها العالم التجريبي، «ديك تيلر»، عام ١٩٧٨ في جامعة ستانفورد في الولايات المتحدة الأميركية، والتي تمت فيها بعثرة مجموعة من الإلكترونات السريعة عن مجموعة من البروتونات.

بيْد أن هذه النتائج والشواهد لم تشكل دليلاً قاطعاً على صحة نظرية سلام - واينبرغ - غلاشو. إذ أمكن تفسيرها أيضاً بدلالة نظريات أخرى لا تمتّ بصلة مباشرة للنظرية المذكورة. وعليه فقد أجمع العلماء في مطلع الثمانينات على أن الدليل الوحيد الذي يشكل دليلاً قاطعاً على صحة النظرية هو اكتشاف الجسيمات الضعاف وبيان أن كتلها تملك القيم التي تتنبأ بها النظرية.

ولقد تم ذلك بالفعل في منتصف عام ١٩٨٣ على يدي العالم الإيطالي كارلو روبيا*، وفريقه في جنيف (سويسرا).

وقد تم مؤخراً إجراء محاولات عديدة لتوسيع إطار سلام - واينبرغ - غلاشو بحيث يستوعب القوة النووية القوية وقوة الجاذبية. بيد أننا لن نتناول هذه المحاولات ههنا، وذلك لتداخل هذه المحاولات وتشابكها مع العديد من المفاهيم والموضوعات الأخرى المعقدة والتي لم نتطرق اليها بصورة تكفي لتحديد التربة المفهومية لهذه المحاولات. لذلك كلّه، فإننا لن نتناول هذه المحاولات إلا بعد أن نكون قد تناولنا، وببعض التفصيل، الكوارك Quark، والليبتون Lepton، وقانون حفظ عدد الباريونات، والتركيب الداخلي للبروتون، وظاهراتية القوة النووية القوية، وتفصيلات التفاعلات النووية، وطبيعة التفاعل الكمي، وما إلى ذلك.

وبعد، فهذا شأن العقل الإنساني: شرط وجوده التقدم إلى الأمام، وجوهر بقائه الثورة المستمرة على القديم. وهو لاينِي يسلّط منطقه على الطبيعة محاولاً خلقها على شاكلته، فيذهل حين يرى أن الطبيعة غالباً ما تنصاع إلى

* بلغني وأنا أدقق بروفات هذا الكتاب أن كارلو روبيا وزميله فان دير مير قد منحا جائزة نوبل في الفيزياء لعام ١٩٨٤ على العمل المذكور أعلاه.

أوامره وتبلور منطقه وكأنها قد امتصته امتصاصاً يوم سلطه عليها. ولكن، ما وجه العجب في ذلك؟ أليس العقل وليد الطبيعة، ذلك الخضم المتلاطم لجميع الاحتمالات والإمكانات؟ ألم تنجب الطبيعة العقل من صميم باطنها؟ بل، أليس العقل مجرّد تجسيد حيّ متنام لمنطق الطبيعة الكامن في ثناياها؟ ليس ثمة تناقض إذن بين العقل العلمي والطبيعة، فالعلم هو ذلك الهيكل للنشاط البشري الذي تتفتق الطبيعة من خلاله للبصيرة الإنسانية. وليس توحيد سلام ـ واينبرغ ـ غلاشو سوى أحد الأمثلة البارزة على ذلك.

لماذا تبدو السماء زرقاء في النهار؟

لماذا تبدو السماء زرقاء في النهار؟

زرقة السماء : ظاهرة جدّ مألوفة ، لكن التساؤلات بصددها ، برغم ذلك أو ربما بفضل ذلك ، تلد بمولد القدرة على صنع المفهومات في طفولة المرء . بيْد أن الجواب عن هذه التساؤلات ليس بالسهولة التي يتوقعها المرء على أساس كون الظاهرة مألوفة جداً . فقد احتاج العلماء إلى بضعة قرون من البحث المتواصل وفي مجالات عدة (البصريات ، طبيعة الغلاف الجوي ، وغيرها) حتى تمكنوا من فكّ طلاسم هذه الظاهرة الجميلة .

أما نحن ، فنبدأ باستنطاق ظاهرة زرقة السماء في النهار بملاحظة أن الزرقة هذه لا تتبدّى إلاّ في النهار ، مما يعزّز الفكرة بأنها متعلقة بصورة أو بأخرى بنور الشمس الوافر .

ومن ناحية أخرى ، فإن رواد الفضاء الذين حطوا بأقدامهم على سطح القمر يؤكدون أن سماء القمر لا تبدو من سطحه زرقاء ، بل تظهر سوداء ترصعها النجوم البراقة فيما تتوسط الشمس كبدها . كذلك ، فإن الشمس لا تبدو صفراء أو حمراء من سطح القمر ، كما هو الحال من سطح الأرض ، بل تبدو بيضاء ساطعة . لماذا ؟

ما الذي يميزّ الأرض عن القمر في هذا الصدد ؟

من الواضح أن هذا الفرق بين الإثنين ينبع من أن الأرض تملك غلافاً جوياً « ملموساً » يحيط بها ، فيما يخلو سطح القمر من أي أثر لغلاف جوي . وهكذا ، فمن الواضح أيضاً أن زرقة سماء الأرض في النهار مرتبطة بصورة أو بأخرى بالغلاف الجوي الأرضي .

ثمة عاملان رئيسان إذن يؤدي تفاعلها وتشابكهما إلى ظهور السماء على

هذه الصورة الأخّاذة: تركيبة نور الشمس، وتركيبة الغلاف الجوي. فلنتناول إذن كلّاً منهما على حدة، ثم نرى بعد ذلك كيف يؤثر كل واحد منهما على الآخر.

كلّنا نعلم أن نور الشمس يتشكّل من مجموعة متصلة من الألوان (الطيف المرئي المتصل) تظهر في اجتماعها للعيان في شكل نور أبيض اللون. ونعلم أيضاً أن هذا النور ما هو سوى مجموعة من الموجات الكهرومغناطيسية (أو الفوتونات) التي تتميز عن بعضها من حيث طول الموجة، بمعنى أن كلّ لون يتحدّد، ومن ثم يتميّز عن الآخر، بطول موجاته. وإذا مثّلنا طول الموجة بخط مستقيم يتنامى ويتزايد من اليسار إلى اليمين، وجدنا أن اللون الأحمر يحدّ الطيف المرئي (الجزء المرئي من الطيف الكلّي لأشعة الشمس) من اليمين، وأن اللون الأزرق يحدّه من اليسار، بمعنى أنّنا نقترب من منطقة اللون الأحمر كلما ازداد طول الموجة، فيما نقترب من منطقة اللون الأزرق كلّما نقص هذا الطول. أما ألوان الطيف المرئي الأخرى (الأصفر، الأخضر، الخ..)، فتقع بين هذيْن الحديْن المتطرفيْن.

ههنا نترك نور الشمس لنقف عند الغلاف الجوي وتركيبه.

يتشكل الغلاف الجوي من مجموعة من الغازات (النيتروجين، الأكسجين النيون، الآرغون، ثاني أكسيد الكربون، بخار الماء، الأوزون في بعض طبقات الجو العليا). ويتكون كلّ من هذه الغازات من مجموعة هائلة من الجزيئات المتماثلة التي تتحرك عشوائياً بسرع متباينة يتناسب متوسطها طردياً ودرجة حرارة الغاز، والتي يتصادم بعضها مع بعضها الآخر بين الفينة والأخرى. ويبلغ عدد جزيئات الهواء (وغيره من الغازات المثالية) عند الصفر المئوي وعند ضغط جوي واحد (٧٦٠ مم زئبق) ٢,٦٨٧×١٠^١٩ جزيء لكل سم^٣، وهو ما يسمى عدد لوشميت Loschmidt's Number. وبطبيعة الحال، فإن هذا العدد يتناقص كلّما ارتفعنا عن سطح الأرض، وذلك بفعل تناقص قوة الجذب الأرضية المؤثرة على الهواء مع الارتفاع. وقد يكون من

المفيد أن نذكر في هذا المضمار أن الكتلة الكلية للغلاف الجوي الأرضي تبلغ حوالي ٥٨١٠ مليون مليون طن.

في ضوء ذلك كله، كيف يتفاعل نور الشمس مع جزيئات الهواء؟ وبصورة خاصة، كيف يتفاعل هذا النور مع الإلكترونات المشتركة بين الذرات المكوِّنة لهذه الجزيئات؟

لقد تمت دراسة هذا التفاعل بصورة مستفيضة إبان القرن التاسع عشر، وبخاصة على أيدي العالم التجريبي «تيندال» **Tyndall** والعالم النظري «رايلي» **Rayleigh**، حتى إنه (أي التفاعل) أخذ يعرف باسم مفعول تيندال أو تشتّت رايلي. ولكن، وقبل تدبر هذا التفاعل، فلنلقِ نظرة سريعة على ما يحدث لأنماط الإشعاعات الشمسية الأخرى التي تصاحب الإشعاع المرئي حين تخترق الغلاف الجوي.

إنكم تعلمون بالطبع أن نور الشمس يكون مصحوباً بأنواع أخرى من الإشعاعات الكهرومغناطيسية (غير المرئية)، مثل الإشعاع فوق البنفسجي، والإشعاع السيني، والإشعاع دون الأحمر. فهذا الأخير هو الجوهر المادي للحرارة والدفء اللذين تغمر أشعة الشمس بهما الأرض ومن عليها. أما الإشعاعان فوق البنفسجي والسيني، فيتم امتصاصهما كلياً تقريباً في طبقات الجو العليا، وبخاصة من قبل غاز الأوزون المنتشر في بعض هذه الطبقات. ويستنفد جزء كبير من طاقتهما في تأيين جزيئات الهواء في ما يعرف بطبقة «الأيونوسفير»، وتحويلها من ثم إلى طبقة من البلازما (خضم من الأيونات والإلكترونات). وبذلك، ولحسن حظ الكائنات الحية على سطح الأرض، فإنّه لا يصل إلى سطح الأرض من هذيْن الإشعاعين القاتليْن النفاذيْن سوى قدْر يسير يكاد لا يذكر.

أما الإشعاع المرئي، فمع أن جزءاً منه يتم امتصاصه بلا ريب، إلا أن جزءاً آخر منه ملموساً ينفذ إلى سطح الأرض فيضيئه، لا بل يغمره، بنور النهار.

ماذا يحدث لهذا الجزء الذي يصل إلى سطح الأرض؟ إنه يتشتّت عن جزيئات الهواء.

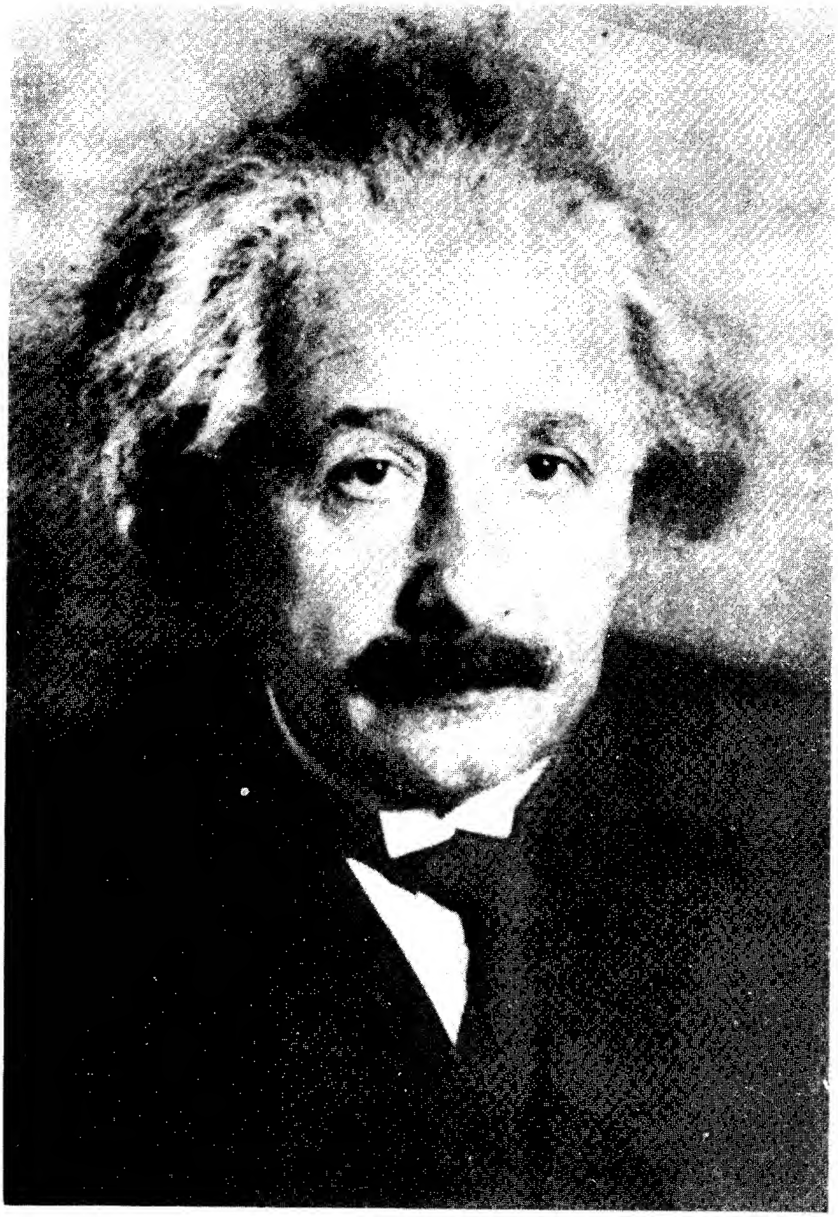
كيف يتمّ هذا التشتّت؟

تبيّن لدى كلّ من تيندال ورايلي أن تشتت الضوء تعتمد كيفيته وطبيعته على حجم الدقائق التي تشتته. فإذا فاق قطر الواحدة طول موجة اللون الضوئي، الذي يتشتت عنها، بكثير، كانت شدة الضوء المبعثر مستقلة تقريباً عن طول الموجة. هذا ما يحدث على سبيل المثال حين يتشتت نور الشمس عن دقائق الغبار. إذ إن النور المشتّت يحافظ على لونه الأبيض. أما إذا كان قطر الدقيقة الواحدة أصغر بكثير من طول الموجة، كما هو الحال مع جزيئات الهواء (ودقائق دخان السجائر أيضاً)، فلا تتشتّت عنها الألوان جميعاً بالكيفية ذاتها. فقد وجد رايلي أن النسبة بين شدة الضوء المشتت وشدة الضوء الواقع على دقائق التشتت تتناسب تناسباً عكسياً مع القوة الرابعة لطول الموجة، وتناسباً طردياً مع مربع حجم جزيء الهواء. بذلك، فإن نسبة تشتت الضوء الأزرق تفوق نظيرتها للّون الأحمر بعديد من المرات (طول الموجة = حوالي ٠,٤ ميكرون للبنفسجي والأزرق؛ ٠,٧٥ للأحمر). وهذا يعني أن الجزء الأكبر من الفوتونات المشتتة يقع ضمن منطقة اللون الأزرق، أي أن النور المشتّت يميل بصورة كاسحة إلى الزرقة. من ثم، فإن السماء تبدو زرقاء في النهار.

ولمّا كانت أشعة الشمس، حين تمرّ في الغلاف الجوي، لا تفقد الفوتونات بفعل التشتت بصورة متوازنة (بمعنى أنها تميل بصورة كاسحة إلى فقدان فوتونات الضوء الأزرق)، فإن الشمس تبدو صفراء حين تتوسط كبد سماء الأرض، وتبدو حمراء عند الغروب وعند الشروق. ذلك أن أشعتها تقطع، عند الشروق أو الغروب، مسافة أطول في الغلاف الجوي من نظيرتها عند الظهيرة، فتفقد من ثم عدداً أكبر من فوتونات اللون الأزرق، فتبدو الشمس عند ذلك أقرب إلى الحمرة.

ويمكن تصوّر عملية التشتّت هذه على نحوين. فإما أن نتصور الضوء على شكل موجات كهرومغناطيسية تولّد حركة اهتزازية اضافية في إلكترونات الجزيئات التي تمرّ بها، فتبثّ الإلكترونات بفعل ذلك موجات ضوئية مماثلة للموجات الأصلية من حيث طول الموجة، ولكن مغايرة إياها من حيث اتجاه الحركة. أو أن نتصوره على شكل فوتونات تصطدم بالجزيئات فتتشتت عنها في اتجاهات مختلفة، تماماً كما تتشتت الأجسام المادية المألوفة عن بعضها عند اصطدامها ببعضها. وقد نعالج تفصيلات تفاعل الضوء مع الذرات والجزيئات في مقالات لاحقة.

وخلاصة القول كلّه أن زرقة سماء الأرض في النهار تنجم عن نزوع نور الشمس بصورة كاسحة إلى فقدان فوتونات اللون الأزرق عند تشتته عن جزيئات الغلاف الجوي.



ألبرت آينشتاين

أنماط النشاط الإشعاعي الطبيعي

أنماط النشاط الإشعاعي الطبيعي

كلّنا نعلم أن الذرة تتكون من نواة موجبة الشحنة تدور حولها مجموعة من الإلكترونات السالبة. ونعلم أيضاً أن الإلكترونات تنتظم في مستويات معينة للطاقة حول النواة، فلا يجوز لها أن تتحرك إلاّ ضمن هذه المستويات. وقد ينتقل الإلكترون من مستوى طاقة إلى مستوى طاقة آخر إما تلقائياً أو بفعل مؤثّر خارجيّ (كالضوء، والإشعاعات الكهرومغناطيسية الأخرى، والجسيْمات الذرية والنووية ودون النووية). فإذا كان الانتقال صعوداً إلى مستوى أعلى، امتصتِ الذرة قدراً معيناً (كمّاً معيناً) من الطاقة. وإذا كان هبوطاً إلى مستوى أدنى، بثّت الذرة كمّاً «معيناً» من الطاقة (إشعاع دون أحمر، أو إشعاع مرئي، أو إشعاع فوق بنفسجي، أو إشعاع سيني).

كيف تتغير هذه الصورة «البورية» (نسبة إلى العالم الدنماركي نيلز بور Bohr) حين ننتقل من نطاق الإلكترونات إلى نطاق النواة؟

إنك تعلم ولا ريب أن النواة تتكون من بروتونات موجبة الشحنة الكهربائية ونيوترونات متعادلة. وقد تعلم أيضاً أن هناك ثمة قوة هائلة تربط هذه الجسيْمات دون النووية ببعضها ضد قوى التنافر الكهربائية بين البروتونات. إنها ما يسمى القوة النووية القوية التي ذكرناها في مقالات سابقة.

ومثلما تتحرك الإلكترونات ضمن مستويات محدّدة للطاقة حول النواة، فإن الجسيْمات النووية (النيوكليونات Nucleons) تتحرك حول بعضها في داخل النواة ضمن مستويات معينة للطاقة تحت تأثير كل من القوة النووية القوية والقوة الكهرومغناطيسية. بيْد أن الفروق في الطاقة بين المستويات النووية تفوق نظيرتها بين المستويات الإلكترونية بكثير. لذلك، فإن الإشعاع الذي تبثّه الأنوية غير المستقرة، حين ينتقل بروتون أو نيوترون أو أكثر من مستوى

نووي للطاقة إلى مستوى آخر، يفوق في طاقته بكثير الإشعاعات التي تنبعث بفعل انتقال الإلكترونات التي تحيط بالنواة من مستوى طاقة ذري إلى آخر. فهو يفوق في طاقته الإشعاع السيني بصورة ملحوظة. وقد أطلق العالم البريطاني رذرفورد على هذا الإشعاع اسم إشعاع غاما.

لاحظ أننا استعملنا أعلاه لفظة «الأنوية غير المستقرة». فثمة عناصر ذات أنوية غير مستقرة يتم فيها انتقال البروتونات والنيوترونات من مستوى نووي إلى آخر باستمرار. ومن ثم، فهي تبثّ إشعاع غاما تلقائياً وباستمرار. ويطلق على مثل تلك العناصر اسم العناصر المشعة (المواد المشعة). أما النشاط الإشعاعي نفسه، فيسمّى النشاط الإشعاعي الطبيعي لأنه يتم بصورة تلقائية (طبيعية)، لا تحت تأثير مؤثرات خارجية.

بيْد أن انبعاث إشعاع غاما من النواة ليس النمط الوحيد من أنماط النشاط الإشعاع الطبيعي. إذ إن بعض الأنوية الثقيلة تبثّ باستمرار ما يسمّى إشعاع بيتا السالب، وهو مجموعة من الإلكترونات السريعة. ويتمّ هذا النمط من النشاط الإشعاعي بفعل تحلّل النيوترونات في بعض الأنوية إلى بروتونات وإلكترونات (إشعاع بيتا) وضديدات النيوترينو Antineutrinos (جسيْمات دون نووية عديمة الكتلة)*، وذلك تحت تأثير نوع آخر من القوى يسمّى القوة النووية الضعيفة.

كذلك، فثمة نوع آخر من الأنوية الثقيلة يبثّ باستمرار ما يسمى إشعاع بيتا الموجب، وهو مجموعة من البوزيترونات Positrons (ضديدات الإلكترون) الموجبة الشحنة والسريعة. ويتم ذلك بفعل تحول البروتونات في بعض الأنوية إلى نيوترونات وبوزيترونات ونيوترينوات، وذلك تحت تأثير القوة النووية الضعيفة أيضاً.

---

* هذا هو التصور الحالي لطبيعة النيوترينو. على أن بعض الشواهد والدلائل مؤخرا دلّت على أنه ثمة احتمال لأن لا تكون النيوترينو عديمة الكتلة، بمعنى لأن تملك كتلة معينة، وإن كانت في غاية الصغر بالنسبة إلى كتلة الإلكترون.

وهناك احتمال لأن تلتقط النواة إلكتروناً من مجموعة الإلكترونات التي تدور حولها، فيتفاعل هذا الأخير مع أحد البروتونات الموجودة في النواة لينتج نيوتروناً ونيوترينو. ويصاحب هذه العملية (عملية سقوط إلكترون في النواة) إنبعاث إشعاع سيني معيّن.

وثمة إشعاع آخر تبثّه بعض الأنوية الثقيلة هو ما يسمى إشعاع ألفا. وليس هذا الإشعاع سوى مجموعة من أنوية عنصر الهيليوم (النواة مكونة من نيوترونين وبروتونين). وهناك اعتبارات طاقية تحدّد نمط الأنوية التي يجوز لها أن تبثّ إشعاع ألفا. ولسوف نتناول هذه الشروط والاعتبارات الطاقية ونظيرتها المتعلقة بإشعاعات بيتا في مقالات لاحقة. ويكفي القول ههنا أنه لا يمكن في أي صورة من الصور تفسير إمكانية بث بعض الأنوية لاشعاع ألفا على أساس قوانين الفيزياء الكلاسيكية (قوانين الميكانيكا النيوتونية وقوانين ماكسويل في الكهرومغناطيسية، وقوانين الثيروموديناميكا الكلاسيكية). فلا يمكن تفسير هذه الإمكانية إلاّ على أساس ميكانيكا الكم Quantum Mechanics. ذلك أن جسيْم ألفا الذي يتكون في داخل النواة غير المستقرة يجد أمامه جداراً كهربائياً شاهقاً يحيط بالنواة ويعيق طريقه إلى خارجها لكون طاقته أقلّ بقليل من ارتفاع الجدار. بذلك، فإنه لا يمكن أن يتخطى الجدار ويخرج من النواة وفق التصور الكلاسيكي. أما ميكانيكا الكم فترى أن جسيْم ألفا يملك احتمالاً ملموساً لأن يتخطى الجدار رغم الاعتبارات الطاقية، وذلك بفضل طبيعته الموجية (أو كونه يطيع مبدأ اللاّيقين). وقد نتناول هذا الأمر ببعض التفصيل في مقالات مقبلة.

وهناك أيضاً الانشطار النووي التلقائي الذي يتمّ في العناصر الثقيلة جدّاً (كاليورانيوم بأنواعه، والبلوتونيوم، والثوريوم، وما إلى ذلك)، والذي يتم بموجبه انشطار النواة إلى نصفين متساوييْن تقريباً، بالإضافة إلى نيوترونيْن حرّيْن أو ثلاثة نيوترونات حرة. بيْد أن هذا النمط من النشاط الإشعاعي بطيء جدّاً (بالنسبة إلى الأنماط المذكورة أعلاه) في العناصر المتوفرة في

الطبيعة. ولسوف نتناوله في مقالات لاحقة حين نتحدث عن القنبلة النووية.

وثمة بعض الأنوية التي تبثّ الواحدة منها بروتوناً أو بروتونين. بيْد أن هذا النمط من النشاط الإشعاعي بطيء جداً بالنسبة إلى الأنماط السابقة، ونادر جدّاً.

ويحدث أحياناً أن تحرّر النواة غير المستقرة طاقة الاستثارة فيها بنقلها إلى إلكترون من مجموعة الإلكترونات المحيطة بالنواة، بدلاً من تحريرها على شكل إشعاع غاما. عند ذاك، يكتسب الإلكترون المعني من الطاقة ما يمكّنه من الإفلات من الذرة ذاتها. ويسقط مكانه إلكترون آخر من المستويات العليا في الذرة، فينبعث تبعاً لذلك الإشعاع السيني. بيْد أن الإلكترونات التي تنبعث بهذه الطريقة تختلف جوهرياً عن إشعاع بيتا السالب من حيث توزيع الطاقة. فلمّا كانت كل من طاقة الاستثارة في النواة وطاقة الإلكترونات المحيطة بالنواة لا متصلة، كانت طاقة الإلكترونات المنبعثة بهذه الطريقة لا متصلة أيضاً، وذلك بعكس إشعاع بيتا الذي تتسم طاقته بطابع الاتصالية.

وبصورة عامة، فإنه يمكن فصل هذه الإشعاعات المختلفة عن بعضها ودراستها بإدخالها في تفاعلات مع مجالات معيّنة (كالمجال الكهرومغناطيسي) أو إشعاعات وجسيْمات أخرى. وعلى سبيل المثال، إذا أمررنا شعاعاً مؤلفاً من الأنواع الثلاثة المألوفة من الإشعاعات النووية (ألفا، بيتا، غاما) في مجال مغناطيسي قوي، فإن إشعاع بيتا السالب ينحرف جانباً في منحنى معين، فيما ينحرف إشعاع ألفا إلى الجانب الآخر في منحنى أقل إنحناء من الأول بفعل كتلة جسيْماته العالية بالنسبة إلى نظيرتها لإشعاع بيتا. أما إشعاع غاما المتعادل الشحنة، فإنه يستمر في انطلاقه في خط مستقيم ولا ينحرف البتة.

بقي أن نقول إن النشاط الإشعاعي الطبيعي يتميز ببطئه الشديد وطول مدته بالنسبة إلى العمليات النووية الأخرى (التفاعلات النووية القوية، وتحلّل الجسيْمات دون النووية تحت تأثير القوة النووية القوية). ويعود السبب في ذلك إما إلى بطء التفاعل النووي نفسه المسؤول عن النشاط الإشعاعي (مثلاً، بطء

التفاعل النووي الضعيف في حال إشعاعات بيتا) أو إلى وجود جدار كهربائي حول النواة يعيق خروج الإشعاعات النووية منها.

ويتميّز النشاط الإشعاعي الطبيعي أيضاً بكونه لا يتأثر البتة بأي مؤثر جاهري خارجي كائناً ما كان. فالحقّ أن معدّل تحلّل أنوية المواد المشعة وأن الاشعاعات النووية الصادرة عنها لا تعتمد بتاتاً على الضغط أو درجة الحرارة أو الحالة المادية لهذه المواد. وعلى ذلك جاء استعمال المواد المشعة في تحديد الزمن تحديداً دقيقاً جداً.

ونظراً إلى أهمية دراسة النشاط الإشعاعي في الكشف عن طبيعة النواة وتركيبها الداخلي، فلسوف نعالجه بمزيد من التفصيل في مقالات لاحقة.

المادية والمنهجية العلمية:
بنية تطور علم البصريات

المادية والمنهجية العلمية:
بنية تطور علم البصريّات

لم يكن الفيلسوف الإغريقي أفلاطون ينوي إثارة زوبعة فكرية في صفوف معاصريه ولا قلب الأمور على رأسها حين أعلن أن مصدر الضوء هو العين البشرية. لقد كان صادقاً مع أفكاره السابقة ومنسجماً مع الأفكار التي كانت سائدة في عصره. بل يمكن القول أن فرضيته تلك لم تكن سوى امتداد طبيعي وحتمي للنظام الفكري الذي كان سائداً في صفوف الأرستقراطية الأثينية يومذاك. ألم يكن أفلاطون هو عينه الذي نادى من قبل بأن المادة كيان مشوّه، مجرّد ظلّ ملتوٍ للعالم المثالي الحقيقي؟ كيف يُعقل، إذن، أن يتأتّى لمثل ذلك الانعكاس المشوّه أن ينجب كائناً صافياً نقياً لحظياً، لا طعم له ولا رائحة، كالضوء؟ لا! ليس ثمة مفر من الاستنتاج إذن بأن الكائن الوحيد القادر على إنجاب مثل هذا الأثير السحري الصافي في هذا الوجود الآسن هو الإنسان ذاته، تلك الأرجوحة الهشة التي لا يني يتجاذبها حتى لحظة الموت العالَمان: الواقعي والمثالي.

حقاً ان أفلاطون كان منسجماً تمامَ الانسجام مع فكره حين طرح فرضيته تلك. ولم يكن فكره متنافراً في جوهره مع عصره لأنه كان نابعاً من صميم الوجدان الطبقي المهيْمن في عصره. ولمّا كان الانسجام الفكري المعيار الوحيد للحقيقة والشرعية المعرفية لدى الإغريق يومذاك، فإنهم لم يبالوا كثيراً بالتنافر الصارخ بين سيْر الأحداث الطبيعية والاستنتاجات النابعة من الفرضية. بل إنهم لم يتجشموا عناء البحث عن مواطن التنافر بينهما وراء الظواهر المألوفة السطحية. فالحق أن النشاط العقلي الوحيد الذي يسعى باستمرار إلى نقيضه لهو العلم. ولم يكن العلم يومذاك قد وطّد أركانه بعد. فقد كان يكفي أن يكون

وراء الفرضية بنيان فلسفي مترابط عريق ومتناغم مع التركيب الطبقي المهيمن في المجتمع.

وإلا، فكيف لنا أن نفسر حقيقة أن بطلميوس وإقليدس، مفخرتي العلم الإغريقي، تبنّيا هذه الفرضية، واستعملاها في «تفسير» العديد من الظواهر الضوئية، وأضفيا عليها شرعية علمية عملت على إدامتها ردحاً طويلاً من الزمان؟

ولم يكن من السهل مناقضة أقطاب العلم الإغريقي في العصور التي تلت العصر الذهبي للحضارة الإغريقية، وخصوصاً في العالم الهيلنستي، الإغريقي الشرقي الحضارة. بيْد أن الأمر اختلف حين انطلق بدو الصحراء من جزيرتهم يحملون في صفوفهم بذور حضارة فتيّة جديدة. ولقد برهنت الأحداث أن النظرة الإغريقية الأرستقراطية، التي عظّمت الفكر المجرّد والتناغم المنطقي على حساب النشاط العملي، لم تكن لتصمد في المجتمع العربي الإسلامي الذي كان قائماً على أسس اجتماعية وفكرية أخرى.

ومع ذلك، فقد أبدى العالم العربي العملاق، الحسن بن الهيثم، جرأة وثقة بالنفس متناهيتيْن حين قوّض أركان الفرضية الإغريقية المثالية في الضوء تقويضاً كاملاً، واستبدل بها الفكرة المادية بأن مصدر الضوء هو الأجسام المادية المحيطة بنا، لا العين البشرية. فقد اعتبر ابن الهيثم الضوء وسطاً مادياً، شأنه في ذلك شأن الأجسام المادية المألوفة، وربما كان أول من اعتقد بأن سرعة الضوء محدودة، لا لحظية. بذلك نقل ابن الهيثم علم البصريّات من ليل الميتافيزيقيا الحالك إلى نهار العلم الساطع. انه بحق كوبرنيكوس البصريات.

بيْد أن الانقلاب الجذري الذي أحدثه ابن الهيثم في البصريات لم يتحوّل إلى منهجية علمية واعية، ولا إلى تيار فكري جارف، ولا إلى صراع حضاري حاسم. وعلى أية حال، فإن هذا الانقلاب لم يستمر ولم يتأطّر في جماعة علمية محددة ولا في مجموعة من المؤسسات الدائمة. بذلك ظلّ مجرد ارهاص لا أكثر. ولعل الانحطاط في الروح العلمي الذي كان قد بدأ ينخر

المجتمع العربي الإسلامي آنذاك، بفعل هيمنة التيار السلفي الصوفي على العقل العربي وانحسار التيار العقلاني (شبه المادي)، هو الذي كان وراء ذلك.

ولم يبدأ علم البصريّات في النمو والتطور باطراد على أسس محددة مكينة، وضمن هيكل منطقي محدد، بمعنى أنه لم يتم بعث ما انطوت عليه ممارسات ابن الهيثم من تصوّرات مادية علمية، إلا إبان النهضة الأوروبية في القرن السادس عشر، والتي تم فيها بناء القاعدتين، المادية والثقافية، اللازمتين لنمو العلوم وتطورها. ذلك أن النظرة المادية العامة، التي بدأت تتبلور في العالم يومذاك على صورة تيار اجتماعي كاسح، وجهت أنظار رجال العلم إلى علاقات بين الظواهر الطبيعية وإمكانات جديدة لم يكن ليفطن إليها علماء القرون الوسطى. وأدّى هذا التوجه بدوره إلى أن يطرحوا أسئلة جديدة عن الضوء تتناسب وإيمانهم الجديد بمادية الضوء، كسؤالهم مثلاً عن مقدار سرعته وماهيّة حركته.

والحقّ أن مجرّد طرح مثل هذه الأسئلة ليدلّ على عمق القفزة الحضارية التي حققتها النهضة الأوروبية الانسانية والوثنية الطابع والروح. ذلك أن تلك الاسئلة افترضت النظر إلى الضوء على أنه وسط مادي أو مؤثر مادي يتحرك من مكان إلى آخر في فترات زمنية محددة وفق قوانين طبيعية دقيقة، لا على أنه أثير سحري أنعمت به الآلهة على الانسان ليرى به بهاء خلقها.

والآن، تدبّر الحوار التالي الذي ورد في كتاب «علمان جديدان» لعالم النهضة الأوروبية الأعظم، «غاليليو غاليلي»، بوصف هذا الحوار مثالاً ساطعاً على الروح المادي العقلاني الذي أفرزه عصر النهضة. وفيه (أي الحوار) تتبادل الأفكار حول سرعة الضوء ثلاث شخصيات من صنع خيال غاليليو، هي: «سيمبلشيو» الذي يمثل وجهة نظر العصور الوسطى الغيبية والمستمدة في أغلبها من المفكر الإغريقي العملاق، أرسطو طاليس؛ و «سلفياتي» الذي يمثل وجهة نظر غاليليو المادية الثورية؛ و «ساغريدو» الذي يمثّل موقفاً محايداً منفتحاً على كل ما هو جديد، فهو يمثّل إذن روح عصر النهضة الأوروبية

والثورة العلمية وضمير ذلك العصر الفتي:

ساغريدو:

حركة الضوء هذه، إلى أي نمط من الحركات تنتمي؟ ما مقدار السرعة التي تنطوي عليها هذه الحركة، وما نوعها؟ أهي لحظية خاطفة؟ أم أنها تستلزم فترات زمنية معيّنة كغيرها من الحركات المادية؟ وهل بمقدورنا تقرير ذلك بالتجربة العلمية؟

سيمبلشيو:

مهلاً يا هذا! هل غاب عن بالك ما تفيده الخبرة اليومية في هذا المضمار؟ أليست تفيد بأن انتشار الضوء يتم بصورة لحظية؟ أم هل تنوي مناقضة ما يلاحظه ويألفه الملايين من بني البشر يومياً؟ هلاّ راقبت يوماً مدفعاً على مرمى بصرك لكن على بُعد كبير عنك؟ أما لاحظت أن وميض الحمم وصل إلى عينيك لحظياً فيما لم يفلح صوتها في الوصول إلى أذنيك إلاّ بعد فترة زمنية ملحوظة؟

ساغريدو:

عفواً سيمبلشيو... الشيء الوحيد الذي أستنتجه من هذه التجربة المألوفة هو أن الصوت أبطأ انتشاراً من الضوء بكثير. فالتجربة لا تبتّ بأية حال من الأحوال في ما إذا كان انتشار الضوء لحظياً بالفعل أم أنه يتم بسرعة هائلة تتضمن فترات صغيرة جداً، لكن محدودة.

سلفياتي:

إسمعا... لقد قادني هذا النمط من التفكير يوماً إلى تصميم طريقة جديدة يمكن بموجبها البتّ في هذا الأمر بدقة ويقين..

ويمضي سلفياتي في شرح هذه الطريقة التي لا تعنينا ههنا في حد ذاتها.

إيقاع مألوف هذا الذي نستشفه من ذلك الحوار. إنه الإيقاع العلمي الذي

غدا بُعداً أساسياً من أبعاد حياتنا اليومية المعاصرة، على جميع مستويات الحياة الاجتماعية (الثقافية، والعقائدية، والسياسية، والاقتصادية).

هذا التساؤل العقلاني الحر النابع من إدراك منهجي عميق لمادية الضوء، والذي يرتبط فيه التنظير والتجريب، بفضل هذا الإدراك، ارتباطاً جدلياً مكيناً، أليس هو جوهر النشاط العلمي الذي يتميز ويمتاز به عصرنا عن غيره من العصور؟ أجل ففي تلك الأيام المثيرة، عصر النهضة الأوروبية، عصر دافنشي وكوبرنيكوس ثم غاليليو وكبلر، تمت ولادة الروح العلمي الحديث، ولادة إنسان الحاضر والمستقبل.

ههنا، في هذا الحوار وغيره من الحوارات التي تدور في كتاب غاليليو المذكور أعلاه والزاخر بالأفكار والأساليب العلمية الثورية، تتجلّى لحظة القطع المعرفي بين العقلية القديمة، عقلية العصور الوسطى، التي اعتمدت المألوف لتفسير المألوف وتركت البعيد عن المألوف نهباً لترهات الخيال الغيبي، وبين العقلية العلمية الحديثة التي تعبّر عن إدراكها العميق والمنهجي لمادية الوجود باستنطاقها المتواصل لظواهر الوجود بدلالة المجرد اللامألوف: نظرياً عن طريق بناء المفاهيم الدقيقة المتصاعدة والمتسامية التجريد، وعملياً عن طريق الطرح المتواصل للأسئلة العملية (التجارب) وصقل أدوات هذا الطرح ـ تلك اللحظة الحاسمة التي تم فيها الارتقاء بالمعرفة من حضيض الغيبية والمثالية إلى قمة المادية العلمية، والتي راح ضحيتها المفكر الشهيد «جيوفاني برونو» الذي أحرقه رجال الدين حتى الموت، وغاليليو غاليلي ذاته الذي وبخته السلطة الدينية وأذلته ثم وضعته تحت الإقامة الجبرية جزاء ما «اقترفته» يداه من اكتشافات عظيمة وإنجازات باهرة. فالحق أن الإنسان لم يبدأ يتخطى عالم أوهامه ليغوص في عمق أعماق الوجود إلاّ بعد أن حقق هذه القفزة الرائعة: من الحسّ المباشر المحاط بسبع سماوات غيبية إلى التجريد النابع منهجياً من إدراك مادية الوجود.

وهكذا، فقد فصّلنا في هذه المقالة البُنية العامة لتطور البصريات Optics

من مجرّد عنصر عقائدي إلى علم ديناميّ متحرّك، بمعنى أننا كشفنا النقاب عن ماهية القطع المعرفي الذي انتقلت البصريات بفضله من المستوى العقائدي (المثالي والغيبي) إلى مستوى المعرفة العلمية. ولقد ألمحنا إلى أن الإدراك المنهجيّ لمادية الضوء كان شرطاً أساسياً لانعتاق البصريّات من هيمنة العقائدية المثالية واكتسابها مقداراً من الزخم مكّنها من القفز إلى مستوى المعرفة العلمية.

ونظراً إلى الأهمية الحضارية لهذه الفكرة (فكرة أن الادراك المنهجي لمادية الموضوع هو بُعد أساسي من أبعاد المنهجية العلمية وأنه شرط ضروري من شروط إدخال الموضوع ضمن دائرة النشاط العلمي)، فسنفصلها نظرياً وتاريخياً في المقالة المقبلة.

المادية وبنية الثورات العلمية

المادية وبنية الثورات العلمية

في المقالة السابقة، رسمنا المعالم الجوهرية للحظة القطع المعرفيّ التي انتقلت البصريّات بفضلها من عنصر عقائدي مثالي إلى علم، وقلنا إن الإدراك المنهجيّ لمادية الموضوع (الضوء في حال البصريات) شكّل بُعداً أساسياً من أبعاد تلك اللحظة الحاسمة، من حيث إنه شكّل شرطاً أساسياً من شروط إدخال الموضوع ضمن دائرة النشاط العلمي وبناء منهجية علمية قادرة على استنطاق عمق أعماقه.

وإن هذا القول ليكتسب أهمية خاصة في بيئة اجتماعية متخلّفة ومحافظة كبيئتنا العربية. ونحن لا ندّعي أنه كلام حيادي. فهو ينطوي على الاعتقاد بأن المادية، بوصفها نظرة شمولية وفلسفة كونية، تشكّل الجوهر الوجودي للمنهجية العلمية، وأن العلم من ثم يتعارض مع جميع أشكال الغيبية والمثالية. وإني على تمام العلم بأن الكثيرين يعارضون هذا القول معارضة شديدة من حيث إنهم لا يرون أي تعارض أو تناقض بينه وبين الفلسفة المثالية في صورها المختلفة (بما في ذلك الوضعية). بيد أني أرى أن ثمة عوامل عقائدية غيبية ومثالية تدفعهم إلى مثل ذلك الاعتقاد، وأنهم من ثم لا ينطلقون من منطق الممارسة العلمية ولا من مغزاها الحقيقي ولا من المقتضيات الوجودية لاستنطاق الموضوع، كائناً ما كان، وإنما يجمّدون التناقض الصارخ بين العقائدية والمنهجية العلمية عن طريق تغليفه (أي التناقض) بهالة عقائدية معينة، لأنهم يعرفون في قرارة ذاتهم أن معتقداتهم لا يمكن أن تصمد أمام نور العلم الساطع، فهم بذلك يضطرون إلى اللجوء إلى المهادنة فيمسخون العلم ومغزاه وأهدافه النبيلة. ويكفيك أن تنظر إلى الطريقة التي يتصور بها الوضعيون العلم لترى إلى أي مدىً يمسخ المثاليون هذا النشاط الإنساني النبيل.

فهم يتصوّرون أن هدف العلم يتجوهر في البحث عن المعلومات والعلاقات العرضية وتجميعها ثم تلخيصها وتبويبها في قوانين ومعادلات رياضية معينة، لا أكثر. بذلك، فإنهم ينفون أن العلم هو وسيلة (أو الوسيلة المثلى) لسبر أغوار الوجود وكشف النقاب عن حقيقته في مستوياتها وطبقاتها المختلفة. وعليه، فإنهم يجرّدون العلم من قيمته الحقيقية ومغزاه الأساسي، ويحيلونه مجرّد لعبة مسلية وناجحة لا أكثر، ومن ثم يفتحون باب المعرفة على مصراعيه أمام العقائد الغيبية والمثالية التي عفا عليها الزمان والتاريخ.

فلنرَ إذن كيف يدخل الإدراك المنهجي لمادية الوجود في قلب المنهجية العلمية ويؤطّرها وفقاً لذاته. ولتكن بنية الثورات العلمية سبيلنا إلى ذلك. ذلك أن دراسة هذه البنية ولحظات القطع المعرفي التي تلازمها دراسة متعمقة تشير بصورة قاطعة الى أن المعرفة لم ترقَ إلى المستوى العلمي إلا بعد انعتاقها من قيود الغيبية والمثالية.

يجدر التنبيه أولاً إلى أن الإدراك المنهجي لمادية الوجود لم يهبط على الجماعة العلمية هبوط الوحي على الأنبياء، بل إنه تبلور بصورة عامة بعد قرون طويلة من التفكير والتخيّل ضمن الأطر الغيبية والمثالية القديمة في التفكير. وهو إلى ذلك لم يتبلور تدريجياً، بل ظلّت عناصره تنمو ضمن الأطر القديمة حتى وصلت حدّاً توحّدت عنده في إدراك حيّ شكّل قطعاً معرفياً وقفزة نوعية انتقلت المعرفة بموجبها من المستوى الغيبي المثالي إلى المستوى العلمي. فمما لا ريب فيه أن جذور العلوم الطبيعية، بمفاهيمها ومبادئها المختلفة، تمتد إلى فجر الحضارة الإنسانية. بيد أن نمو هذه الجذور قبل الثورة العلمية لم يكن متصلاً متواصلاً، ولا منتظماً متصاعداً، ولا حرّاً نابعاً من ضرورته الداخلية. فلم تكن هذه الجذور تستقي زخمها من ذاتها ولا من ضرورتها، بل كانت تستقيه من التربة العقائدية الغيبية والمثالية التي كانت تغذيها وتكبّلها في آن. ذلك أنه إذا اعتبرنا منطق الموضوع وجوهره كامنين خارج نطاقه في قوة غيبية لا يمكن أن يدركها الفكر البشري، كبّلنا إمكانية

معرفتنا الموضوع بقيود وحدود ميتافيزيقية قَبْلِيَّة، واضطررنا إلى اللجوء إلى منهجية غيبية لا عقلانية، كالممارسات السحرية مثلاً، للتعرف على ما يُعنينا في الموضوع. كذلك، فإذا اعتبرنا منطق الموضوع وجوهره تجسيداً لفكرة مسبقة أو جدل منطقي مسبق، كما في المثالية (باركلي، فخته، هيغل)، لجأنا بالضرورة إلى طرق فكرية فلسفية محض لاستنباط ماهية الموضوع ووجوده. أما الإدراك المنهجي لمادية الموضوع، فإنه يحتّم اللجوء إلى التنظير والتجريب في وحدتها الجدلية لاستنطاق الموضوع في مستوياته وعلاقاته المختلفة والغوص إلى باطنه الحقيقي (المادي)، لا الوهمي (المثالي).

والحق أن النظرة المادية العلمية إلى الوجود حديثة العهد. فمع أننا نرى ومضات لماعة منها في الحضارات القديمة (الحضارة الأيونية الإغريقية، أرخميدس، الحسن بن الهيثم، ابن خلدون)، إلا أن هذه الومضات لم تتضافر لتخلق تياراً متنامياً ومتجذراً في جماعات ثقافية مهيمنة فكرياً وفي مؤسسات اجتماعية مكينة، ومن ثم فقد شكّلت مجرّد إرهاصات للثورة العلمية لا أكثر. فلم تتفجّر هذه النظرة (المادية) وتلك الثورة (العلمية) بحق، في مجال الطبيعة غير العضوية على الأقل، لتغدو تياراً اجتماعياً جارفاً إلّا في القرنين السادس عشر والسابع عشر في أوروبا، بعد أن توفرت الشروط المادية التاريخية لبروزها وتفجرها. بذلك، يمكن اعتبار عصر النهضة الأوروبية نقطة التحول التي دخل العلم عبرها التاريخ ومرحلة الهيمنة على المستوى الثقافي في البنية الاجتماعية، بمعنى أن العصور التي سبقت عصر النهضة الأوروبية هي عصور ما قبل تاريخ العلم. فلم تبدأ المفاهيم العلمية باتخاذ أشكال وقوالب واضحة المعالم ترتبط فيها المعرفة النظرية بالمعرفة العملية ارتباطاً جدلياً مكيناً إلا في أواخر النهضة الأوروبية على أيدي كوبرنيكوس وغاليليو وبرونو وكبلر وديكارت وهوك وبويل ونيوتن وغيرهم من شهداء العلم وأبطاله. والحق أن هذا الارتباط الجدلي، الذي يشكّل سمة جوهرية من سمات العلم والذي لا يكون العلم علماً من دونه، هو صورة دينامية من صور الإدراك المنهجي لمادية

الموضوع.

فما اللجوء المنهجي إلى التجريب سوى إقرار عملي بموضوعية الموضوع وسيره وفق منطق خاص به (وهذا بالضبط ما نعنيه بمادية الموضوع). ومن ناحية أخرى، فإن التجريب، من حيث هو استنطاق مباشر للموضوع، يكتسب معناه ومغزاه من الإطار النظري الذي يوحي به.

وكما أسلفنا، فلم يكن هذا الالتحام الجدلي متصلاً ولا متنامياً ولا متجذّراً في تربة المجتمع قبل عصر النهضة الأوروبية، بل كان متقطعاً ومتناثراً هنا وهناك ومقتصراً على استثناءات فردية قليلة. وهكذا، فإن هوة عميقة كانت تفصل النشاط النظري عن صنوه التجريبي العملي في الحضارات القديمة. فكان العلم الإغريقي مثلاً يجمح في متاهات الميتافيزيقيا وغماماتها، فيما ظلّ العلم الشرقي وقفاً على التقنية الحدسية وعالم الخصوصيات (المحاط بهالة من سبع سماوات غيبية، كما ظن أرسطو). وظل الحال كذلك بصورة عامة حتى كان عصر النهضة الأوروبية. عند ذاك هبطت الميتافيزيقيا من عليائها وارتفعت الخصوصيات من حضيضها لتلتحما معاً في النهج العلمي السليم.

وقس على ذلك ما حدث في حقل العلوم البيولوجية. إذ ظلّت البيولوجيا في مرحلة ما قبل تاريخها تتأرجح ما بين الغيبية والمثالية من جهة والتصنيفية الوصفية الإمبريقية Empiricist من جهة أخرى حتى منتصف القرن التاسع عشر يوم تبلور الإدراك المنهجي لمادية الكائنات الحية على يدي تشارلز داروين، صاحب نظرية التطور.

وكذا الحال بالنسبة إلى مجال المجتمع والتاريخ. فلم يتم الإدراك المنهجي لمادية العلاقات الاجتماعية والبنى التاريخية إلا في منتصف القرن التاسع عشر أيضاً على يدي المفكر الألماني العظيم، كارل هينريش، الذي ابتكر الهيكل المفهومي الدقيق الملائم لاستنطاق ظواهر المجتمع والتاريخ، والذي اكتشف بهذا الهيكل قوانين حركة المجتمع الحديث بالتفصيل.

يبدو إذن أن ثمة نمط تطور عاماً وشاملاً تشترك فيه العلوم قاطبة وعلى اختلاف أنواعها وموضوعاتها، ويميزها عن غيرها من النشاطات الذهنية الثقافية الأخرى (الأدب، الفنون، الفلسفة).

بيد أننا في واقع الحال لم نتطرق إلا إلى نمط واحد من أنماط الثورات العلمية، أعني ذلك النمط الذي يصاحب ولادة العلم في موضوع ما والذي يشكّل قطعاً معرفياً ينتقل العلم المعني بموجبه من مرحلة ما قبل تاريخه إلى مرحلة تاريخه. لكن هناك أنماطاً أخرى تقع في مرحلة تاريخ العلم ذاتها وهي تختلف اختلافاً بيّناً عن النمط المذكور أعلاه. وتتجلّى فيها قوانين الجدل والتطور الجدلي بصورة أوضح. لكن المجال هنا لا يسمح لنا بتناولها. وقد نتناولها في مقالات لاحقة ببعض التفصيل.



نیلز بور

لماذا تبدو السماء مظلمة في الليل؟

لماذا تبدو السماء مظلمة في الليل؟

سؤال غريب؟

- إنه لكذلك.. بل إنه يبدو أتفه من أن يستحق الإجابة عنه. إذ، أليس بديهياً أن السماء تبدو مظلمة في الليل لأن الشمس تكون غائبة ومتوارية عن الأنظار آنذاك؟

- ولكن، هل إن الشمس تشكّل الجرم السماوي الوحيد الملتهب والمشعّ من تلقاء ذاته؟

لا، بالطبع. إذ، ثمة بلايين من الشموس (النجوم) الأخرى التي لا تقل طاقة ولا احتراقاً عن شمسنا. بل إنها تفوقها في ذلك في كثير من الأحيان.

- ولكن، مهلاً. أيجوز مقارنة هذه النجوم بشمسنا وهي (أي النجوم) على ما هي عليه من بُعد شاسع عنّا؟ أفلا تبعد عنّا هذه النجوم مئات، لا بل آلاف، السنين الضوئية؟

- سؤال مشروع. فالنجوم بصورة عامة تبعد عنا كثيراً ولا ريب. لذا، فإنه لا يصلنا سوى جزء ضئيل يكاد لا يذكر من طاقة كل منها. هذا حق لا ريب فيه. ولكن، لا تنس أعدادها الهائلة حقاً. صحيح أن كل نجم على حدة لا يؤثر إلا قليلاً جداً على ظلمة السماء. ولكن، ماذا بشأنها مجتمعة؟ خذ دقيقة الرمل مثلاً. إنك تكاد لا تراها. ولكن اجمع مليوناً منها معاً، تحصل على تلة في حجم قصر شاهق.

- فصّل هذه النقطة من فضلك.

- إذا نظرنا إلى السماء في الليل البهيم، لاحظنا أعداداً كبيرة من النجوم

التي يترواح نورها ما بين الباهت والساطع. فإذا قسّمنا هذه النجوم المرئية للعين المجردة إلى فصائل حسب شدة لمعانها، وجدنا أن الفصائل التي تتضمن نجوماً باهتة تحتوي على أعداد من النجوم أكبر بكثير من نظيرتها في فصائل النجوم الساطعة، بمعنى أن عدد النجوم يقل بازدياد شدة اللمعان. كيف نفسر هذه الظاهرة بصورة عامة دون الدخول في تفاصيل تكوّن النجوم وأصنافها وأعمارها وأحجامها؟

الحق أن التفسير الأول الذي يخطر على بال المرء، والذي تبنّاه علماء القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، هو أن شدة لمعان النجوم بمثابة مقياس لبُعدها عن الأرض، بمعنى أنه يمكن اعتبار سطوع النجوم الساطعة دلالة على قربها النسبي من الأرض، واعتبار بهوت النجوم الباهتة دلالة على بُعدها عنها. فإذا فرضنا أن كثافة النجوم في البقاع النائية لا تختلف بصورة ملموسة عنها في البقاع القريبة منّا، انسجم هذا التفسير مع حقيقة أن النجوم الباهتة تفوق عددياً النجوم الساطعة بكثير، وذلك لأن أغلفة الفضاء المحيطة بالأرض تزداد حجماً كلّما ازداد نصف قطرها (بُعدها عن الأرض).

ولا نريد ههنا مناقشة هذا التفسير من زاوية النظريات والاكتشافات الحديثة. بل نكتفي بالقول أن هذا التفسير كان التفسير الطبيعي في النصف الأول (وربما النصف الثاني أيضاً)من القرن التاسع عشر يوم طرح السؤال الذي يشكل عنوان هذه المقالة. كذلك، فإذا أجرينا عليه بعض التعديلات العرضية، لا الجوهرية، بات معقولاً حتى من زاوية نظر القرن العشرين. ولسوف نناقش هذه التعديلات وهذا التفسير ببعض التفصيل فيما بعد.

وفي ضوء هذا التفسير، يبرز احتمال أن يعوّض ازدياد عدد النجوم كلّما بهتت عن بهوتها الناجم عن بُعدها الشاسع. ومن ثم، يبرز السؤال عمّا إذا كانت النجوم البعيدة جداً قادرة (وفق الفيزياء الكلاسيكية) على إنارة السماء في غياب الشمس (في الليل) بصورة متواصلة رغم بهوت كل منها على حدة.

فأنت ترى إذن أن الأمر أعقد مما قد يبدو للوهلة الأولى، وأنه ليس

بالأمر المفروغ منه. فهو يحتاج إلى تفكير وبحث وتدبر. ولما كان إدراك مغزى هذا السؤال يفترض حداً أدنى من المعرفة الفلكية، وتوفر الكثير من الشروط المعرفية الفلكية، وبخاصة ما يتعلق منها بأبعاد النجوم وشدة إضاءتها، فقد طرح السؤال لأول مرة عام ١٨٢٤. وكان ذلك على يدي الفلكي الألماني أولبرز Olbers. ولذا فقد أطلق على هذا السؤال ـ الأحجية اسم مفارقة أولبرز. ومع أن هذه المفارقة نبعت من قلب النظرية الكونية الكلاسيكية التي كانت سائدة في عصر أولبرز، والتي كان قد أرسى قواعدها إسحاق نيوتن عام ١٦٨٧، إلا أنها لم تجد لها حلولا وتفسيرات مقنعة إلا في القرن العشرين. فهذه المفارقة تبرز التناقضات المنطقية الكامنة في التصور الكلاسيكي للكون كما لا تبرزها أي مفارقة أخرى من مفارقات القرن التاسع عشر.

فلنتدبر إذن تفصيلات هذه المفارقة كما طرحها أولبرز أولاً، ثم نتدبرها كما طرحها علماء القرن العشرين ثانياً. ولنستعرض بعد ذلك الحلول والتفسيرات التي طرحت في ضوء النظريات والاكتشافات المذهلة التي حققها علماء القرن العشرين.

في مطلع القرن التاسع عشر، شرع أولبرز في إجراء عدد من الحسابات النظرية للإجابة عن السؤال الجوهري المطروح أعلاه إجابة دقيقة واضحة المعالم. وبطبيعة الحال، فقد حاول أن يحسب شدة إضاءة السماء في الليل على أساس المعرفة التي كانت متوفرة في ذلك الزمن. ولما كانت تلك المعرفة قاصرة في كثير من المجالات الكونية الجوهرية، وكان العديد من المعالم الكونية خارج دائرة البحث التجريبي والرصدي آنذاك، فقد اضطر أولبرز إلى اعتماد عدد من الافتراضات الكونية العامة التي جاءت، بطبيعة الحال، انعكاساً للعقلية الكلاسيكية التي كانت مهيمنة في أوساط الجماعة العلمية العالمية في القرن التاسع عشر.

ويمكن إجمال هذه الافتراضات بالنقاط التالية:

(١) النجوم هي الدقائق أو اللبنات المادية الأولية المكونة للكون (مثل

الذرات في حال المادة على النطاق الجاهري المألوف)، بمعنى أن الكون ليس سوى خضم من النجوم المستقلة عن بعضها.

(٢) إن متوسط الكثافة العددية للدقائق الكـونيـة الأوليـة (النجـوم وفـق الافتراض الأول) ثابت مكانياً، بمعنى أن هذا المتوسط في منطقتنا الكونية لا يختلف عنه في المناطق الكونية النائية. وبعبارة أدق، فإن متوسط الكثافة العددية للدقائق الكونية الأولية في أي بقعة كونية صغيرة على النطاق الكوني، لكن كبيرة جداً على النطاق النجمي، ثابت لا يتغير بتغير الأبعاد المكانية.

(٣) إن متوسط شدة إضاءة الدقيقة الكونية الواحدة، في أي بقعة كونية كبيرة نجمياً وصغيرة كونياً، ثابت لا يتغير بتغير الأبعاد المكانية. فحيثما ذهبت في أرجاء الكون الفسيح، فإنك واجد أنماط الدقائق الكونية ذاتها التي تجدها في هذه البقعة من الكون. والحق أن هذا الأفتراض وصنوه السابق ينسجمان والتصور الكوني السائد منذ الثورة الكوبرنيكية (نسبة إلى كوبرنيكوس) والقائل بأنه ليس ثمة ما يميز بقعتنا الكونية من غيرها من البقاع الكونية.

(٤) كلّنا يعلم أن سرعة الضوء في الفراغ تفوق سرعة أي موجود مادي آخر. بيد أنها، رغم ذلك، سرعة محدودة. بذلك، فعند رصدنا الدقائق الكونية الأولية وغيرها من الأجرام الكونية، نرصدها كما كانت عليه قبل آلاف (وربما ملايين وبلايين) السنين. ولكن ما السبيل إلى معرفة ما كان عليه متوسط شدة لمعان الدقائق الكونية الأولية قبل ملايين السنين، في ضوء المعرفة المتوفرة في النصف الأول من القرن التاسع عشر؟ من الواضح أنه لم يكن ثمة من سبيل إلى ذلك. لذا، لم يكن في وسع أولبرز سوى الافتراض بأن متوسط شدة إضاءة الدقائق الكونية الأولية ثابت في الزمان.

(٥) انطلاقاً من الصعوبة ذاتها، افترض أولبرز أن متوسط الكثافة العددية

للدقائق الكونية ثابت في الزمان أيضاً.

(٦) إن الكون لا متناهٍ مكانياً وزمانياً، بمعنى أنه يمتد إلى اللانهاية في المكان والزمان كليهما. فلما كان الافتراض الثاني يتعارض، وفق قانون نيوتن في الجاذبية، مع القول بأن الكون محدود، فإنه لم يكن لدى أولبرز مفر من هذا الافتراض.

(٧) إن النجوم أزلية، بمعنى أنها لا تلد ولا تموت.

(٨) إن الكون بصورة عامة (على النطاق الكوني) ستاتيكي Static (سكوني)، بمعنى أنه لا يتقلص ولا يتمدد. ولم يبرز مغزى هذا الافتراض إلا في الربع الثاني من القرن العشرين، كما سنرى لاحقاً.

(٩) إن قوانين الطبيعة لا تتغير مكانياً ولا زمنياً، بمعنى أن ما ينطبق من قوانين في بقعتنا المحدودة من الكون وفي زماننا هذا ينطبق ويصلح في كل مكان وزمان. وإن هذا الافتراض ضروري ولا ريب. فمن العبث أن نطرح جانباً المعرفة التي اقتنيناها في مكاننا وزماننا المحدودين، عند محاولتنا سبر أغوار الكون. فهي المعرفة العلمية الوحيدة التي في حوزتنا.

مفارقة أولبرز

في البند الأول (السابق) من هذه المقالة، بيّنا المغزى الكوني للسؤال الذي يشكّل عنوان المقالة والذي طرحه الفلكي الألماني أولبرز عام ١٨٢٦ في ضوء المعلومات الفلكية التي كانت متوفرة في عصره. ثم أدرجنا الافتراضات التي اعتمدها أولبرز في حسابه الشدة الكلية للضوء الواقع على الأرض في الليل من سائر أنحاء الكون (النجوم جميعاً).

وفي هذا البند (الثاني)، سنفصّل الكيفية التي اتبعها أولبرز في حساب هذه الشدة (الطاقة الضوئية الكلية)، وسنشرح النتائج المثيرة التي توصل إليها، ثم نبيّن الشكل الذي طرحت به مفارقة أولبرز في الربع الثاني من القرن العشرين. بعذ ذاك، سنذكر الحلول التي طرحها علماء القرن العشرين لهذه المفارقة التي عجز عن حلها علماء القرن التاسع عشر، بل وعجزوا أيضاً عن تقدير مغزاها الكوني الكبير.

اتّبع أولبرز الطريقة التالية في حساب الطاقة الضوئية الكلية التي تصل إلى الأرض من سائر أرجاء الكون.

ابتدأ أولبرز بتقسيم الفضاء المحيط بالأرض، والممتد وفق افتراضاته إلى اللانهاية، في مخيّلته، إلى أغلفة متتابعة ومتساوية السماكة، واختار السماكة بحيث تكون صغيرة بالنسبة إلى نصف قطر أي من الأغلفة الفضائية، ولكن بحيث يحتوي كل غلاف على عدد كبير من النجوم. بذلك، إذا رمزنا إلى نصف قطر واحد من هذه الأغلفة بالرمز (نق)، وإلى سماكته الثابتة بالرمـز (س)، ورمزنا إلى عدد النجوم لكل وحدة حجم، والذي افترض أولبرز أنه ثابت في المكان والزمان كليهما، بالرمز (ن)، كان عدد النجوم التي يحتويها الغلاف

المعني (٤ ط نق٢ ن س) تقريباً، حيث إن حجم الغلاف يساوي (٤ ط نق٢ س) تقريباً.

والآن، فلنتدبر الطاقة الضوئية التي يبثها النجم الواحد في الغلاف المعني. إن هذه الطاقة، التي افترض أولبرز أن معدلها (مقدار الطاقة المنبعثة لكل وحدة زمن) ثابت مكانياً وزمانياً، تنتقل عبر الفضاء بسرعة الضوء على شكل موجات كروية مركزها النجم المعني. وهي تنتشر بصورة منتظمة على السطوح الكروية لهذه الموجات. بذلك، فإن كثافتها السطحية (مقدار الطاقة لكل وحدة مساحة على سطح الموجات) تقل مع الزمن، وذلك لازدياد قطر الموجات الكروية، ومن ثم مساحة السطح الموجي الكروي، باطراد مع الزمن.

وحين يصل السطح الموجي الكروي إلى الأرض، بمعنى حين يصل نصف قطره إلى المسافة بين الأرض والنجم المعني، تكون الطاقة التي بثّها النجم في وحدة زمن قد تبعثرت على سطح مساحته (٤ ط نق٢). فإذا رمزنا إلى معدل بث النجم المعني للطاقة الضوئية بالرمز (ل)، كانت الكثافة السطحية لهذه الطاقة، أي مقدار الطاقة الواقعة على وحدة مساحة من سطح الأرض في وحدة زمن، (ل / ٤ ط نق٢). وهكذا، فإن المقدار الكلي للطاقة، الواقعة على وحدة مساحة من سطح الأرض في وحدة زمن، والقادمة من جميع النجوم الموجودة في الغلاف الفضائي المعني، هو: (٤ ط نق٢ ن س × ل / ٤ ط نق٢)، أي (ن س ل). وهذه الكمية لا تعتمد البتّة على نصف قطر الغلاف الفضائي المعني. بذلك، فإن الطاقة الكلية لا تتغير من غلاف فضائي إلى آخر، بمعنى أن الأغلفة البعيدة جداً عن الأرض تزود الأرض بالقدر نفسه من الطاقة الذي تزودها به الأغلفة القريبة منها. وبعبارة أخرى، فإن ازدياد عدد النجوم في الأغلفة الفضائية بازدياد نصف قطر هذه الأغلفة يعوّض تماماً عن بهوت نجومها بازدياد نصف قطرها. فالطاقة التي تصلنا من الأغلفة التي تبعد عنا مئات الآلاف من السنين الضوئية لا تختلف البتة عن تلك التي تصلنا من الأغلفة التي تبعد عنا عشرات السنين الضوئية (السنة الضوئية

هي المسافة التي يقطعها الضوء في سنة واحدة).

كذلك، فإن الطاقة الضوئية الكلية التي تصلنا في الثانية الواحدة من الأغلفة الفضائية قاطبة تساوي، وفق حساب أولبرز، (ن ل × نصف قطر الكون)، بمعنى أنها تتناسب طردياً ونصف قطر الكون. لكن أولبرز افترض أن الكون لامتناهٍ مكانياً وزمنياً، كما رأينا في البند السابق من هذه المقالة، وإلا لما حق له أن يفرض انتظام توزيع النجوم في الكون. بذلك، فإن افتراضات أولبرز، التي تنبع من صميم الهيكل المفهومي للفيزياء الكلاسيكية، تقود حتماً إلى النتيجة اللامعقولة، والمتناقضة كلياً مع الواقع، بأن الطاقة الضوئية الكلية، التي تصلنا كل ثانية من النجوم قاطبة، لا نهائية. وبطبيعة الحال، فإن هذه النتيجة لا تنفي حقيقة ظلمة السماء فحسب، بل إنها تنفي أيضاً حقيقة وجود الأرض والنجوم ذاتها المسؤولة عن هذه الطاقة الضوئية اللانهائية.

ما السبيل إلى الخروج من هذا المأزق النظري؟ حاول أولبرز الخروج من هذا المأزق بأخذه بعين الاعتبار حقيقة أن الأغلفة الفضائية القريبة من الأرض تعمل على حجب الأغلفة البعيدة حجباً جزئياً عن الأرض، بمعنى أنها تمنع جزءاً من الضوء القادم من الأغلفة البعيدة من الوصول الى الأرض، وذلك عن طريق تشتيته وعكسه بعيداً عن الأرض. بيد أن ذلك لم يحل المشكلة. فمع أن هذا الحجب يحول دون أن يصل معدل الطاقة الوافدة إلى اللانهاية، إلا أنه لا يحول دون أن يصل هذا المعدل إلى خمسين ألف مرة قدر معدل الطاقة الوافدة من الشمس في وضح النهار.

لا مفر من التناقض إذن. فوفق افتراضات أولبرز وحساباته، لا مناص من النتيجة اللامعقولة بأنه يتعين أن تكون السماء مضيئة بصورة خاطفة في الليل والنهار، سواء بسواء، بحيث تحرق الأخضر واليابس على سطح الأرض. نتيجة مفزعة بلا ريب! لا بد إذن أن تكون بعض افتراضات أولبرز على الأقل خاطئة. وهكذا نرى أيضاً أن ظاهرة جدّ مألوفة، مثل ظاهرة ظلمة

السماء في الليل، تمثل لغزاً عويصاً، وتمكننا، إذا حللناها على نحو ما فعله أولبرز، من نفي بعض التصورات البديهية للكون برمته وتقويم إمكانية تصورات كونية أخرى، بمعنى أن هذه الظاهرة تشير إلى أن الكل (الكون برمته) يتجلى في أبسط الظواهر وأكثرها شيوعاً. فلا يتعين علينا أن نتعرف على كل ركن من أركان الكون الفسيح حتى نتمكن من معرفة البنية العامة للكون. إذ إن هناك ثمة ظواهر مألوفة، ويمكن رصدها من الأرض التي ندب على سطحها، تخزن بين ثناياها الكثير من المعلومات الجوهرية عن البنية المكانية والزمانية للكون بوصفه كلاً.

وإذا أردنا استنباط هذه المعلومات، فما علينا سوى تغيير زاوية نظرنا اليومية الأرضية ودراسة هذه الظواهر من زاوية نظر كونية شاملة، كما فعل أولبرز.

وقد كانت هذه النتيجة في نظر أولبرز بمثابة دلالة على أن الكون متناهٍ ومحدود، ومن ثم أن توزيع النجوم في الكون ليس منتظماً، بمعنى أن أولبرز اضطر الى التخلي عن الافتراضين الثاني والسادس (إرجع إلى البند الأول) في ضوء هذه النتيجة. وعلى أية حال، فإن الرصدات الفلكية التي أجراها الفلكي الألماني البريطاني العظيم (هيرشل) في عصر أولبرز، بالإضافة إلى الرصدات التي تم إجراؤها بعد موت أولبرز عام ١٨٤٠، كانت تؤيد فكرة أن الكون محدود وأن توزيع النجوم فيه ليس منتظماً. وبصورة عامة، فقد لاقت هذه الفكرة قبولا لدى الغالبية العظمى من علماء القرن التاسع عشر، وإن كانت تنطوي على الكثير من الصعوبات والمعضلات المنطقية. ذلك أن كوناً محدوداً لا يتوقعه المرء أن يصمد طويلاً في ضوء جاذبية نيوتن والميكانيكا الكلاسيكية ومبادىء الثيرموديناميكا. هذا بالإضافة إلى أن علماء القرن التاسع عشر لم يكونوا متأكدين من أبعاد جميع الأجرام السماوية التي تمكنوا من رصدها. فظل الاحتمال قائما طوال القرن التاسع عشر لأن تكون بعض الأجرام السماوية جزراً كونية تتضمن الواحدة منها بلايين النجوم وتبعد عنا ملايين السنين

الضوئية. وهكذا، يمكن القول أن مفارقة أولبرز ظلّت قائمة من دون حل طوال القرن التاسع عشر، وان العلم السائد في ذلك القرن لم يكن في مقدوره توفير أرضية مناسبة وملائمة لإيجاد حلول معقولة لهذه المفارقة.

أما علم القرن العشرين، فقد وفّر أرضيّتين مترابطتين لطرح هذه المفارقة وحلها: أرضية نظرية وأخرى رصدية. ففي عام ١٩١٦، نشر ألبرت آينشتاين نظرية جديدة في الجاذبية تختلف جذرياً عن نظيرتها النيوتونية، وإن كانت تضم الأخيرة بين ثناياها بوصفها حالة خاصة من حالاتها. وفي ضوء هذه النظرية العظيمة، برزت إمكانية أن يكون الكون متناهياً وأن يكون توزيع مادته منتظماً في آن. ومن ناحية أخرى، اكتشف الفلكيان الأميركيان، «هَمَسون» و «هابل»، في العشرينات من هذا القرن أن الكثير من الأجرام السماوية لا يقع ضمن مجموعة نجوم درب التبانة، بل إنه يشكّل مجموعات هائلة من النجوم تبعد عنا ملايين وبلايين السنين الضوئية. وهكذا، فإن ما ظنّه هيرشيل وغيره من علماء القرن التاسع عشر الكون برمته لا يشكّل سوى مجموعة نجمية (مجرة) واحدة من بين بلايين المجرات الأخرى. وقد وجد هذان الفلكيان أيضاً أن توزيع المجرات في الكون منتظم إلى حد كبير من الانتظام. وعليه، فقد برزت مفارقة أولبرز من جديد في ثوب عصري يليق بالقرن العشرين. ذلك أنه إذا استبدلنا المجرات بالنجوم في افتراض أولبرز الأول، بمعنى أنه إذا اعتبرنا المجرات، لا النجوم، الدقائق الأولية المكونة للكون، وأبقينا الافتراضات الأخرى كما هي، حصلنا على صورة جديدة لمفارقة أولبرز، مدعمة بالمزيد من الرصدات المهمة.

كيف حلّ علماء القرن العشرين مفارقة أولبرز في ضوء نظرية النسبية العامة ورصدات «هابل»؟ هذا ما سنفصله في البند الثالث من هذه المقالة.



أرنولد سومرفيلد

الثورة الفلكية الحديثة أو تمدد الكون

في البند السابق (الثاني) من هذه المقالة، بينّا الكيفية التي حسب بها الفلكي الألماني أولبرز مجموع الطاقة الضوئية التي تصل إلى الأرض في كل ثانية من سائر أرجاء الكون، وذلك وفق مجموعة من الافتراضات النابعة من صميم العقلية الكلاسيكية التي كانت سائدة في عصر أولبرز. وقد وجد أولبرز أن هذه الافتراضات تنطوي على النتيجة اللامعقولة بأن مجموع تلك الطاقة لانهائي، أو أنه، على الأقل ، أعلى بكثير من الطاقة التي تصلنا من شمسنا في النهار ، الأمر الذي يتناقض مع واقع ظلمة السماء في الليل. فما كان من أولبرز إلا أن استبعد أن يكون الكون لانهائي الامتداد في المكان، ومن ثم أن يكون توزيع مادته منتظما. ومن ناحية أخرى، فقد أيّدت الرصدات التي اجريت في أواخر القرن الثامن عشر وفي القرن التاسع عشر هذا الاستنتاج. ففي عام ١٧٨٤، قام الفلكي العظيم هيرشيل Herschel بمسح إحصائي للنجوم ضمن حدود قدرة أدوات الرصد التي كانت متوفرة في عصره، وخلص إلى النتيجة بأن الكون محدود في المكان، وبأن توزيع النجوم فيه ليس منتظماً، بل وأن الكون على شكل قرص. ولم يكن هيرشيل يدري وقتها بأن ما اكتشف شكله وتوزيع النجوم فيه لم يكن الكون برمته، بل كان مجرة واحدة فقط من ضمن مجموعة هائلة من المجرات، أعني مجرة درب التبانة. لذلك، فقد وجد علماء القرن التاسع عشر في نتائج هيرشيل دعماً مباشراً لاستنتاج أولبرز بصدد امتداد الكون.

وفي النصف الثاني من القرن التاسع عشر، قام الفلكي الهولندي «ياكوبس كورنيليوس كابتين» Kapteyn بإحصاء النجوم في كل غلاف من الأغلفة الفضائية التي تصورها أولبرز في حسابه الذي عرضناه في البند السابق من

المقالة، بمعنى أنه درس رصدياً تغيّر عدد النجوم بتغير بُعدها عن الأرض (أو درجة سطوعها). فوجد بأن معدل ازدياد عدد النجوم مع البُعد لم يبدِ تناسباً طردياً مع مربع نصف قطر الغلاف الفضائي، كما توقع أولبرز على أساس افتراضاته، بل إنه كان أبطأ من ذلك. ثم إنه كان يتحول إلى معدل نقصان بعد غلاف فضائي معين. فجاءت نتائجه مساندة لنتائج هيرشيل. وفي ضوء تلك القياسات، كان تقدير كابتين النهائي للقطر الطولي «للقرص الكوني» خمسة وخمسين ألف سنة ضوئية. وكان تقديره للسماكة المركزية لهذا القرص أحد عشر ألف سنة ضوئية. وقد نشر كابتين آخر تقديراته في هذا الصدد عام ١٩٢٠، أي بضع سنوات فقط قبل الثورة الفلكية الحديثة التي فجّرها الأميركيان «هَمَسون» Humason و «هابل» Hubble. وبناء على رصدات كابتين تلك، فقد ساد أوساط الفلكيين في الربع الأول من القرن العشرين الاعتقاد بأن التصور الهيرشيلي للكون يشكّل حلاً معقولاً لمفارقة أولبرز، رغم الصعوبات النظرية الجمّة التي اعترضت طريقه.

ولكن كيف اكتشف هَمَسون وهابل الأبعاد الحقيقية للكون باكتشافهم المجرات؟

في العشرينات من هذا القرن، وجّه الفلكيان الأميركيان المذكوران تلسكوبهما إلى السماء لدراسة إحدى الغمامات السديمية الحلزونية التي كان يظن أنها تنتمي الى قرص هيرشيل الكوني (مجرتنا، مجرة درب التبانة). وكان شكلها الحلزوني المحدد الذي ميزها عن غيرها من الغمامات السديمية هو الذي لفت إليها نظر هابل وغيره من كبار الفلكيين آنذاك. وبصورة خاصة فقد ركّز هابل وزميله نظرهما على نجم لامع في تلك الغمامة الحلزونية ينتمي إلى ذلك النوع من النجوم الذي تتغير شدة إضاءته دورياً وبانتظام، والمعروف باسم «متغيّر كيفايد» Cepheid Variable. وقد تمت دراسة هذا النوع من الأجرام السماوية في القرن التاسع عشر والربع الأول من القرن العشرين دراسة مستفيضة كانت نتيجتها أن اكتشف الفلكيون آنذاك علاقة رياضية عامة بين

شدة الإضاءة المطلقة لهذا النوع من الأجرام (أي مقدار الطاقة الضوئية التي يشعها الجرم المعني في الثانية الواحدة) وبين الفترة الدورية لتغيّرها. وباستعمال هذه المعادلة، تمكن هابل وهَمَسون من استنتاج شدة الإضاءة المطلقة لمتغيّر كيفايد المعني من قياس فترته الدورية. ولما كانت شدة الإضاءة تتناسب عكسياً مع مربع البُعد عن مصدر الإضاءة، فقد استطاع هابل وزميله استنتاج بُعد متغيّر كيفايد المعني، ومن ثم بُعد الغمامة الحلزونية التي احتوته، عن الأرض، عن طريق مقارنة شدة الإضاءة المطلقة بشدة الإضاءة النسبية (أي إضاءة المتغيّر كما تبدو من الأرض). وعليه، فقد تبين لهما أن هذه الغمامة تبعد عنّا أكثر بكثير مما كان يتوقعه الفلكيون آنذاك على أساس التصور الهيرشيلي. وبتعبير أدق، فقد تبيّن لديهما أن هذه الغمامة السديمية، التي وجدا أنها تبعد عنّا حوالي مليون سنة ضوئية*، لا يمكن أنْ تكون واقعة ضمن قرصنا الكوني (مجرتنا)، ومن ثم فإنها لا بدّ وأن تكون جزيرة كونية (مجرّة) في حد ذاتها، بمعنى أن تكون مجموعة نجمية مؤلفة من بلايين النجوم كما هو الحال مع مجرّة درب التبانة. وكان أول من أطلق لفظة «مجرة» Galaxy على مثل تلك الغمامة الفلكي «شابلي» Shapley. وقد توالت بعد ذلك اكتشافات هابل وهَمَسون لآلاف المجرات الأخرى، الحلزونية منها وغير الحلزونية، فتفتقت لأبصارهما أبعاد جديدة للكون مذهلة، يتواضع امامها الخيال الإنساني الجامح ذاته. وتضاءل قرص هيرشيل الكوني (مجرتنا) على حين غرة في ضوء هذه الرصدات الثورية حتى إنه بدا كجزيء غاز دقيق يتيه في خضم من الجزيئات الأخرى.

ولم يقف إدوين هابل عند هذا الحد، بل إنه أجرى أيضاً دراسة مستفيضة **للأطياف** الضوئية التي بثّتها المجرات. فوجد أن الخطوط الطيفية المنبعثة من المجرات مزاحة نحو خط الضوء الأحمر، أي نحو اتجاه الزيادة في طول الموجات في الطيف الكهرومغناطيسي، بمعنى أنه لو قارنّا خطوط المجرات

* تبيّن لاحقاً أنها تبعد عنّا في الواقع حوالي مليوني سنة ضوئية.

الطيفية بنظيرتها المنبعثة من الشمس مثلاً، لما وجدنا تطابقاً كاملا بين مواضعها، بل وجدنا الخطوط المجرية مزاحة بالنسبة إلى نظيرتها الشمسية. ومن المعلوم في علم البصريات أن مثل تلك الإزاحات الضوئية تنجم عن حركة مصدر الضوء بعيداً عن أداة الرصد. وعليه، فقد استنتج هابل أن المجرات جميعاً تتباعد باطّراد عن مجرتنا بسرع تتناسب طردياً مع المسافات التي تفصلها عن مجرتنا. وإذا ترجمنا هذه النتيجة من لغة هابل الرصدية إلى لغة نظرية النسبية العامة (التي كانت قد تنبأت بهذه النتيجة قبل أن يتوصل إليها هابل رصدياً)، قلنا إن المجرات تتباعد عن بعضها بهذه السرع، أو إن الكون برمّته (المكان نفسه) آخذ بالتمدد. والحق أن الرياضي الروسي الفذّ «إسكندر فريدمان» Alexander Friedman كان قد تنبأ، على أساس نظرية النسبية العامة، بحتمية تمدّد الكون أو تقلصه بتلك الكيفية، وذلك قبل اكتشاف هابل هذه الظاهرة بنحو ست سنوات. وقد أجرى هابل وغيره أيضاً مجموعة من الرصدات لمعرفة كيفية توزيع المجرات في الكون، فوجدوا أن هذا التوزيع منتظم في المكان إلى حد كبير، بمعنى أن كثافة المادة على النطاق الكوني ثابتة في المكان، فهي لا تتغير من بقعة كونية إلى أخرى. وبهذا الاكتشاف عادت مفارقة أولبرز من جديد لتحتل مركز صدارة في أذهان الفلكيين، فلم يعد التصور الهيرشيلي ولا رصدات كابتين تجدي نفعا في هذا الصدد. فقد نفخت رصدات هابل واكتشافاته روحاً جديداً في افتراضات أولبرز. وكان كل ما يقتضيه طرح المفارقة من جديد هو تعديل الافتراض الأول باستبدال لفظة مجرة بلفظة نجم في نصّه، بحيث يصبح: إن المجرات (لا النجوم) هي الدقائق أو اللبنات المادية الأولية المكوِّنة للكون.

ولكن، وفي الوقت نفسه الذي عزّزت فيه رصدات هابل معظم افتراضات أولبرز، فقد نقضت واحداً من هذه الافتراضات وهو الافتراض الثامن الذي ينصّ على: أن الكون بصورة عامة (على النطاق الكوني) ستاتيكي سكوني، بمعنى أنه لا يتقلص ولا يتمدد. وبطبيعة الحال، فإن أولبرز لم يكن مدركاً

لهذا الافتراض إدراكاً جلياً، لكن حساباته انطوت عليه ضمناً. ولهذا السبب ذكرناه. وقد جاءت اكتشافات هابل الرصدية بصدد تمدد الكون مناقضة تماماً لهذا الافتراض.

والآن، كيف تؤثر فكرة تمدّد الكون على نتائج أولبرز؟

من المعلوم في علم البصريات أن الطاقة الضوئية التي تصلنا من الأجرام المتحركة بعيداً عنّا تقل كلما ازدادت سرعتها، حتى تتلاشى كلياً حين تصل سرعتها سرعة الضوء في الفراغ. بذلك:

(١) فإن الضوء الذي يصلنا من المجرات لا تقل شدته بفعل بُعدها فقط، كما افترض أولبرز في حسابه، بل تقل أيضاً بفعل تباعدها عن بعضها. من ثم، فإن الطاقة الضوئية الوافدة من الأغلفة الفضائية التي تدبَّرها أولبرز في حسابه تقل بازدياد نصف قطر الغلاف.

(٢) وإن الأغلفة التي تسهم في «إنارة» سماء الأرض لا تمتد إلى اللانهاية، بل تمتد فقط إلى ذلك الغلاف الذي تصل عنده سرعة المجرات سرعة الضوء في الفراغ. ذلك أن المجرات التي تقع في هذا الغلاف أو في الأغلفة التي تحيط به لا يصلنا نورها على الإطلاق. وهكذا، فإن الكون المرئي محدود، حتى ولو كان الكون برمته لا محدوداً ولا نهائياً. وبناء على رصدات هابل والرصدات اللاحقة، فقد تبين أن نصف قطر الكون المرئي يبلغ حوالى عشرة بلايين سنة ضوئية. أما بَعد هذا الحد، فتختفي المجرات كلياً عن الأنظار (عن أنظار أعتى التلسكوبات بالأحرى).

ولقد تم حساب مجموع الطاقة الضوئية الوافدة من سائر أنحاء الكون على هذين الأساسين. فتبيّن أن هذا المجموع لا يكفي لإنارة سماء الأرض في الليل، بمعنى أن ذلك الحساب جاء منسجماً مع حقيقة ظلمة السماء. فاعتبر حلاً معقولاً لمفارقة أولبرز. وهو التفسير السائد حالياً في أوساط الفلكيين. بل إن البعض يعتبر مفارقة أولبرز في ضوئه دليلاً مألوفاً على تباعد المجرات عن

بعضها وتمدّد الكون.

لكن بعض العلماء شككوا مؤخراً في هذا الحل، فقد اعتبروا الافتراض السابع، لا الافتراض الثامن، العامل الحاسم في مفارقة أولبرز. ذلك أنهم اعتبروا محدودية عمر النجوم (كون النجوم تلد وتموت، وكون متوسط عمرها حوالى عشرة بلايين سنة) العامل المسؤول عن ظلمة السماء حتى ولو كان الكون لا متناهياً. وهم لا ينكرون بالطبع أثر تمدد الكون في ظلمة السماء. لكنهم يعتبرون محدودية عمر النجوم العامل الأهم. ولم يبت في هذه المسألة بعد. فلا يزال الجدال مستعراً بين الطرفين في شأنها.

ومن جهة أخرى، فقد وفّرت نظرية النسبية العامة أرضية ملائمة لحل مفارقة أولبرز.

ذلك أن هذه النظرية أبرزت إمكانية ان يكون الكون متناهياً وأن يكون توزيع المجرات فيه منتظماً في آن. إذ بيّنت إمكانية أن يكون المكان منحنياً (أي أن يطيع هندسة لا إقليدية) بحيث لا يتغير حجم الغلاف الفضائي مع نصف قطره بالصورة الإقليدية التي تصورها أولبرز في حسابه. وعلى سبيل المثال، فقد قدّم الرياضي «جوردان» حلا معقولاً لمفارقة أولبرز بافتراض انحناء للمكان يجعل حجم الغلاف الفضائي [٤ط نق^2(١ - $\frac{\text{نق}^2}{\text{ف}^2}$)]، لا (٤ط نق^2) وحدها، حيث (ف) ثابت كوني. وإذا كان الحال كذلك، فإن عدد المجرات يقل بازدياد بُعدها عن الأرض.

وهكذا، فقد شكّلت ظلمة السماء مفتاحاً مهماً من مفاتيح الكون، ومخزناً واسعاً للمعلومات الكونية، وقيداً محدِّداً لنظريات الكون الممكنة. وإننا لنأمل في أن نعالج المفاهيم، التي لجأنا إليها في معرض بحثنا عن حلول شافية لمفارقة أولبرز، ببعض التفصيل في مقالات لاحقة.

العقائدية وأنماط الثورات العلمية

العقائدية وأنماط الثّورات العلمية

ليس صحيحاً أن العلم براء من العقائدية (الأيديولوجيا) Ideology. فالعقائدية هي المستوى الاجتماعي الذي يكتسب ضمنه أي نشاط فكري مغزاه الحضاري، ومن ثم معناه الاجتماعي. ذلك أن العقائدية تحدد بنية المعنى الحضاري (القاعدة المعنوية، اللغة المفهومية) التي تحدد بدورها طبيعة الإنتاج الفكري في المجتمع، كائناً ما كان صنف هذا الإنتاج. بل إن استيعاب الجماعة، كائناً ما كانت طبيعتها الاجتماعية، نتائج فعلها المعرفي يتم دوماً من خلال التأويل العقائدي.

ومع ذلك فإن نشوء العلم وهيمنته في عملية إنتاج الفكر والمعرفة (الثورة العلمية الكبرى) وتجذّره مادياً في تربة المجتمع، انطوت على نوع من التحرر من سيطرة العقائدية. وربما كان من الأدق القول بأن الثورة العلمية الكبرى، التي وقعت في القرنين السادس عشر والسابع عشر، قد أنطوت على تغيّر كيفي في نمط العلاقة القائمة بين المعرفة والعقائدية، من حيث إنها عملت على قلب علاقة الهيمنة القائمة بين الطرفين. وبطبيعة الحال، فقد أدى هذا القلب الى تغيير الإنتاج المعرفي تغييرا كيفياً من حيث المنهجية ونمط المفاهيم وعلاقاتها البنيوية. إذ، فيما كان الهيمنة في عملية الإنتاج الفكري للعقائدية الدينية قبل الثورة العلمية الكبرى، فقد كان المغزى الاجتماعي للثورة الكوبرنيكية (ثورة كوبرنيكوس) في مطلع القرن السادس عشر. وللمجابهة المصيرية التي تمت عام ١٦٣٢ بين غاليليو والسلطة الدينية، أنهما شكّلتا نقطة تحول جذرية في علاقة الهيمنة بين المعرفة والعقائدية، بحيث غدا الإنتاج المعرفي العنصر المهيمن في تلك العلاقة، في مجال الطبيعة غير العضوية على الأقل. ولم يكن هذا الانقلاب حدثاً ثقافياً معرفياً بحتاً، بل إنه شكّل صراعاً اجتماعياً تاريخياً حاداً بين

سلطتين: فئة العلماء التي كانت تدعمها القوى الاجتماعية الجديدة والطبقات الوسطى الصاعدة آنذاك، والسلطة الدينية التي كانت يدعمها النظام الإقطاعي برمّته لكون هذه السلطة محور ذلك النظام وجوهره. كما أن هذا الانقلاب مثّل صراعاً تاريخياً حاسماً بين حقبتين: الحقبة الصناعية الحديثة المشحونة بروح اللانهاية، والحقبة الزراعية المكبّلة التوق والمنظور.

بيد أن هذا الانقلاب لم يعنِ أن العقائدية انتفت أو خرجت كلياً من دائرة النشاط العلمي. فالحق أن مثل ذلك الانتفاء أو الخروج غير ممكن، من حيث إن النشاط الفكري، كائناً ما كان نوعه، يتم دوماً، وبحكم ماهيته، ضمن إطار عقائدي أو أكثر، وإن فعل المنهجية العلمية يتم دوماً في بيئة عقائدية، إن جاز التعبير، وضمن أطر عقائدية. فالانعتاق (من العقائدية) الذي حاز عليه الإنتاج المعرفي بفضل الثورة العلمية الكبرى اقتصر على منهجية البحث والاستقصاء والتحقق فقط، الأمر الذي مكّنها من الهيمنة في الحقل الفكري وإحالة العقائدية ذيلاً لها.

ولكن، ومع ذلك، ظلّت العقائدية تدخل في تشكيل تركيبة نِتاج فِعل هذه المنهجية، سواء أكان هذا النِّتاج نظرية أم فرضية أم تأويلاً أم بنية مفهومية. وفضلاً عن ذلك، فإنها ظلت تؤثر في اتجاه فِعل المنهجية العلمية.

وعلى سبيل المثال فإن العقائدية الوضعية Positivist Ideology دفعت فيلسوفها الأكبر، العالم الفيزيائي الكبير، «إرنست ماخ» Ernst Mach الى نبذ النظرية الذرية وانتقاد مؤيديها بشدة، ومن ثم إلى توجيه فكره ونشاطه العلمي في اتجاهات مغايرة لمنطق هذه النظرية. أما لودفيغ بولتسمان Ludwig Boltzmann، العالم الفيزيائي النمساوي الفذ، فقد وجّه أبحاثه ونشاطه العلمي الدافق برمته صوب منطق النظرية الذرية، التي كان يؤيدها تأييداً كبيراً، وذلك بفضل عقائديته المادية المتيافيزيقية التي التزم بها التزاماً كاملاً حتى لحظة مماته في مطلع القرن العشرين. فكان الصدام بينه وبين ماخ في هذا الصدد صداماً عقائدياً في المقام الأول. وربما كان ذلك الصدام عاملاً أساسياً

في دفع بولتسمان إلى الانتحار في مطلع هذا القرن.

وكمثال آخر، فإن العقائدية الوضعية إياها هي التي دفعت العالِم الفيزيائي الألماني العظيم، فرنر هايزنبرغ Werner Heisenberg، إلى البحث عن طريقة جديدة، لتمثيل الكميات الفيزيائية تمثيلاً رياضياً، تختلف جذرياً عن الطريقة الكلاسيكية المألوفة التي تعمد الى تمثيل الكميات الفيزيائية بدلالة الدوال (الاقترانات الجبرية). وباكتشافه تلك الطريقة الجديدة تمكّن هايزنبرغ من إرساء قواعد ميكانيكا الكم Quantum Mechanics التي حلت محل الميكانيكا النيوتونية الكلاسيكية، وتمكّن أيضاً من استنتاج مبدأ اللايقين Uncertainty Principle، الذي يعدّ اليوم محور التصور الفيزيائي الحديث. ولسوف نتناول اكتشافات هايزنبرغ العظيمة تلك في مقالات لاحقة.

كذلك، فقد كان للعقائدية الوضعية دور كبير في نبذ آينشتاين مفهوم الأثير Ether، الذي كان يشكل عائقاً كبيراً في مطلع هذا القرن أمام تطور الفكر العلمي، وفي صوغه نظرية النسبية الخاصة بما انطوت عليه من تصورات جديدة للزمان والمكان، وفي تحرير فكره من التصورات الكلاسيكية المطلقة للكميات الفيزيائية الأساسية. وإنه لمن المدهش حقاً أن تلعب العقائدية الوضعية مثل تلك الأدوار المهمة والمفيدة، على الرغم من أنها عقائدية ناقصة بصورة عامة، ومسطِّحة للفكر، وضارة سياسياً.

ولعل المثال الأعظم في هذا الصدد هو الفلكي الألماني الفذّ، يوهان كبلر Johannes Kepler، أحد أعمدة الثورة العلمية الكبرى. فإن العقائدية الفيثاغورية السحرية هي التي حفزته إلى تكريس جلّ وقته وجلّ عبقريته الرياضية الفذة لدراسة أدق الرصدات الفلكية المتعلقة بحركة الكواكب والتي كانت متوفرة في عصره، ومن ثم قادته إلى اكتشاف القوانين الثلاثة الموسومة باسمه (قوانين كبلر).

والحق أن الهيكل المفهومي لتصور الطبيعة، والذي يحدد إطار فِعل المنهجية العلمية، بشقيها النظري والتجريبي، لحقبة كاملة من الزمان، يكون في العادة

مضمّخاً بالعقائدية. كذلك، فإن الصراع العقائدي يكون، تحت ظروف تاريخية ومعرفية معينة، عاملاً من عوامل تخطّي الهيكل المعني إلى هيكل جديد أوسع مدلولاً وأرحب تشكيلاً. وهذا ما وقع بالفعل في حال الميكانيكا النيوتونية التي نقد تأويلها الكلاسيكي المألوف كل من إرنست ماخ النمساوي وأنري بوانكاريه Poincaré الفرنسي، ونقدا من خلال ذلك العقائدية المادية الميتافيزيقية التي كانت تشكل قاعدة ذلك التأويل، وذلك على أسس عقائدية وضعية، فمهّدا بذلك السبيل أمام كل من نظرية النسبية الخاصة التي أرسى قواعدها ألبرت آينشتاين عام ١٩٠٥، ونظرية النسبية العامة التي رسم معالمها الأساسية آينشتاين عينه عام ١٩١٦.

كذلك، فقد كان رفض آينشتاين التأويل السائد لميكانيكا الكم، والمسمى تأويل كوبنهاغن The Copenhagen Interpretation، نابعاً من تصوره العقائدي الجمالي للوجود والذي كان مغايراً لتصور كل من نيلز بور، فيلسوف ميكانيكا الكم، وفرنر هايزنبرغ، عالمها الأكبر. وكانت نتيجة هذا الرفض أن دار صراع عقائدي طويل بين آينشتاين وبور امتد من العشرينات واستمر حتى وفاة آينشتاين في منتصف الخمسينات. وقد لعب هذا الصراع دوراً حيوياً في تطور الفكر الفيزيائي في هذا القرن، ولا تزال آثاره بادية حتى يومنا هذا.

وبصورة عامة، فإن قوى الإنتاج المعرفي تظل تنمو في بيئة حية (علمياً) بفِعل الديناميكا الذاتية للمنهجية العلمية، ومن ثم تتراكم المعرفة العلمية، ضمن إطار عقائدي معين، حتى تصل حدّاً يفقد عنده هذا الإطار القوة على احتوائها، ومن ثم يغدو سلسلة من القيود والعوائق التي تكبّل نمو هذه القوى وتكبتها. عند ذاك، ينشأ وضع ثوري في العلم المعني، يليه زلزال ثوري يقوض أركان البنيان المفهومي القديم في سلسلة من لحظات القطع المعرفي الحاسمة التي ينتفي بموجبها البنيان القديم انتفاء جدلياً، بمعنى ان البنية الداخلية القديمة تنهار لكن عناصر النظام القديم لا تنتفي، بل تدخل في علاقات جديدة مع بعضها ومع عناصر جديدة لتشكل في انصهارها الجدلي

بنياناً مفهومياً جديداً يفي بمقتضيات استمرارية تطور الإنتاج المعرفي. هذا هو التناقض الأساسي الذي يحدد الآلية العامة لنشوب الثورات في العلوم في مرحلة تاريخها (أي بعد الثورة العلمية الكبرى). وإذا نظرنا إليه عبر منظور الإنشاء الهيغلي Hegelian Discourse، قلنا إن البنيان القديم يتضمن مفهومات مجردة تستثني بعضها، ومن ثم تتناقض كلياً مع بعضها، فينشأ توتر جدلي شديد بينها. لكن هذا التوتر لا يصل حد الانفجار ما ظل إطار فِعل الواحد بمنأىً عن إطار فِعل الآخر. بيد أن تراكم المعرفة والخبرة الإنسانية بفعل ممارسة النشاط العلمي لا يفتأ يقرّب حدّي التناقض من بعضها، فيزداد توتر الوضع حتى يصل لحظة الانفجار. عند ذاك، يندغم حدّا التناقض في وحدة جدلية تكون بمثابة مفهوم جديد قادر على استيعاب ما يستجد من معرفة جديدة. وهذا بالضبط ما حصل في الربع الأول من هذا القرن يوم جاءت المفاهيم الكمية حلاً جدلياً لتناقضات الفيزياء الكلاسيكية.

وفي ضوء ذلك، فإنه يتعين التفريق بين هذا النمط من الثورات العلمية (فلنسمها الثورات الهيغلية) والذي يتم وفق الآلية التي فصّلناها لتوّنا، ويقع في مرحلة تاريخ العلم المعني، وبين الثورات العلمية الكبرى (السوبرثورات، إن جاز التعبير) التي يتم بموجبها ولادة العلوم المختلفة. فالسوبرثورات (الثورات الكبرى) هي الثورات التي ينتقل عبرها العلم من مرحلة ما قبل تاريخه إلى مرحلة تاريخه. أما الثورات الهيغلية فهي الثورات التي ينتقل العلم عبرها وفي مرحلة تاريخه من هيكل مفهومي ونمط عقائدي إلى هيكل مفهومي آخر ونمط عقائدي آخر. كذلك، فإن السوبرثورات لهي ثورات اجتماعية على النطاق العقائدي الثقافي، بمعنى أنها تمثّل انفجار صراعات طبقية مصيرية على هذا النطاق. أما الثورات الهيغلية، فهي ثورات تعكس الطبيعة الجدلية لتطور المعرفة العلمية.

وأخيراً وليس آخراً، فإن السوبرثورة تمثّل لحظة انعتاق المنهجية العلمية من العقائدية وهيمنتها على المستوى الثقافي. أما الثورة الهيغلية فلا تمسّ الماهية

الداخلية للمنهجية العلمية على الإطلاق، بل تُعنى فقط بالهيكل المفهومي السائد .

وسنفصّل هذه الأفكار والتصورات المجردة ونوضحها في مقالات لاحقة عن طريق رسم المعالم الرئيسة للهيكل المفهومي للفيزياء الكلاسيكية، وبيان التناقضات الكامنة فيه، ثم بيان الكيفية التي انتقل بها العلم من هذا الهيكل إلى الهيكل المفهومي الحديث (ميكانيكا الكم).

ازدواجية المادة أم ازدواجية العقل
(الهيكل المفهومي للفيزياء الكلاسيكية)

المعضلة

توصلنا في مقالات سابقة إلى أن الإدراك المنهجي لمادية الموضوع، كائناً ما كان الموضوع، شكل شرطاً أساسياً من شروط بزوغ المنهجية العلمية وتجذّرها في تربة المجتمع على شكل مؤسسات مكينة وجماعات علمية فاعلة. فهذا الإدراك هو الذي حرّر منهجية المعرفة في المجال المعني من سلطة العقائدية وما وقف وراءها من جماعات ومؤسسات. هذا من ناحية. ومن ناحية أخرى، فقد انطوت المقالة السابقة على الرأي بأن الإدراك المنهجي لجدليّة تطور الفكر العلمي شكّل شرطاً أساسياً من شروط انعتاق نتاج المنهجية العلمية (وبصورة خاصة التأويل العلمي) من هيمنة العقائدية.

وفي هذه المقالة وفي مقالات لاحقة، سنفصّل هذه الأفكار عينياً عن طريق رسم معالم الهيكل المفهومي للفيزياء الكلاسيكية المستوحاة في أساسها من التصوّر الذي طرحه إسحاق نيوتن في كتابه المشهور (المبادىء) **Principia** عام ١٦٨٧، وبيان التناقضات المفهومية الكامنة في هذا الهيكل، ونقد التصور الكلاسيكي للعلاقة بين هذا الهيكل وبين بنية المادة (علاقة المعرفة بموضوعها)، ثم بيان الكيفية التي تمّ بها حلّ التناقضات الكلاسيكية ضمن إطاري ميكانيكا الكم ونظرية النسبية، أو بالأحرى الكيفية التي تمّ بها خلق هذيْن الإطارين بوصفهما حلاً جدلياً لبعض تناقضات الهيكل الكلاسيكي على الأقل.

بدأت الملامح العامة للهيكل المفهومي للفيزياء الكلاسيكية تتبلور في نهاية القرن السادس عشر على يدي مؤسس علم الفيزياء، غاليليو غاليلي. لكن هذا الهيكل لم يكتمل بناؤه ولم يهيمن في صفوف الجماعة العلمية بوصفه تصوراً شاملاً للوجود ومنهجية نظرية مترابطة ومعينة إلا في النصف الثاني من القرن السابع

عشر، وذلك على يدي العالم الإنجليزي إسحاق نيوتن. فجاء كتاب نيوتن المذكور، «المبادىء» (١٦٨٧)، الأنموذج الأمثل للتصور الكلاسيكي والنمط الكلاسيكي في التفكير، والذي سار على هديه وخطاه علماء القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، حتى في المجالات الطبيعية التي لم يتطرق إليها نيوتن.

ولم يكن هذا الهيكل سوى الانعكاس النظري لإطار المعرفة التجريبية الجاهرية Macroscopic، أعني المعرفة المتعلقة بالأجسام والموجودات المادية الأخرى التي يمكن إدراكها بحواسّنا، إما بصورة مباشرة أو من خلال أدوات ملموسة معينة. فقد ظلّ هذا الصرح المهيب قائماً ما ظلّ النشاط العلمي منصباً على العالم الجاهري الذي يتشكّل أصغر جسم فيه من آلاف الذرات. من ثم، فإن حدود الهيكل المفهومي للفيزياء الكلاسيكية هي حدود المعرفة التجريبية الجاهرية ذاتها، أو قل حدود العالم الجاهري ذاته، بمعنى أن هذا الهيكل يظلّ ساري المفعول في دراسة الطبيعة ما ظلّت أدوات القياس عاجزة عن تخطي حدود العالم الجاهري.

فقد تطورت المفاهيم والمبادىء الفيزيائية ضمن الإطار الكلاسيكي تطوراً مقدارياً واكب نمو المعرفة التجريبية الجاهرية، حتى تخطّت أدوات القياس الحدود الجاهرية الى العالمين المجهريّ (عالم الجزيئات والذرات والإلكترونات والنيوكليونات وما إلى ذلك) والكوني (عالم المجرات، والعناقيد، والسوبرعناقيد المجرية Galactic Clusters and Superclusters، والثقوب السوداء، والنجوم النيوترونية، والسرع الهائلة القريبة من سرعة الضوء، والكون برمته). عند ذاك، بدأ الصرح الكلاسيكي الجبّار يتزعزع ويتداعى، وتنامى التناقض بينه وبين المعرفة التجريبية الجديدة، حتى تفجّر في ثورة جامحة كانت نتيجتها أن حلّت النظريتان النسبية والكمية مكان النظرية الكلاسيكية. ولسوف نعالج هذه الثورة لاحقاً على اعتبار أن أساسها هو التناقض بين منطق الفيزياء الكلاسيكية، المتمثّل بالفصل النوعي (الازدواجية المطلقة) بين المادة والطاقة (المادة والمجال، أو الجسمْ والموجة)، وبين منطق الأحداث على

النطاقين المجهري والكوني.

ولكن، ماذا نعني بالضبط بالازدواجية المطلقة (الفصل النوعي) بين المادة والطاقة؟

يمكن القول بأن مبدأ الازدواجية المطلقة (الفصل النوعي) بين المادة والطاقة يشكّل المحور العقائدي الرئيس للتأويل العلمي في الفيزياء الكلاسيكية، من حيث إنه يصبغ كلّ عنصر من عناصرها بصبغة خاصة، بما في ذلك منهجية التنظير. ولا يعني ذلك بالطبع أن العلماء الكلاسيكيين كانوا مدركين جلياً لوجود مثل هذا المبدأ في باطن تصورهم للمادة. ذلك أنه كان مستتراً عن أنظارهم بوصفه افتراضا ومحوراً عقائدياً، من حيث إنهم كانوا يعتقدون أن الهيكل المفهومي الكلاسيكي هو الهيكل العلمي الوحيد الذي يمكن تطبيقه على الطبيعة، وأنه أزلي الطابع والروح، لأنه يمثّل البنية الجوهرية للوجود المادي. فقد كانوا يعتقدون بأن القوانين الأساسية التي عبّر عنها نيوتن بدقة رياضية ساطعة في (المبادىء) هي قوانين أزلية مطلقة وصارمة لا يحدّها حدّ مكاني ولا حدّ زماني. فلم يكن لديهم آنذاك إدراك عينيّ لجدلية التطور العلمي ولا لتاريخية الفكر العلمي. والحق أن هذا المبدأ لم يتجلَّ لعيان العلماء بوصفه افتراضاً عقائدياً، لا حقيقة أزلية، إلا بعد ظهور نظريتي الكم والنسبية على مسرح النشاط العلمي، وإن كانت قد انطوت بعض تصورات القرن التاسع عشر للفيزياء، مثل تصوّر هيغل **Hegel** وتصوّر إنغلز **Engels**، على إدراك عميق لجدليّة التطور العلمي.

ويتجلّى مبدأ الازدواجية المطلقة في أوضح صوره في الفصل النوعي بين مفهومي الجسيم **Particle** والطاقة **Energy** أو المجال **Field**. ويمكن تعريف الجسيْمات (الكلاسيكية) بأنها نقط مادية تتميز عن النقط الهندسية الإقليدية المألوفة بأن لها أبعاداً كينماتية ودينامية، بالإضافة إلى الأبعاد المكانية التي تعرّف النقط الهندسية العادية. ونعني بالأبعاد الكينماتية والدينامية الكميات الفيزيائية المتعلقة بحركة المادة، مثل الكتلة، والزخم، والقوة، والزخم الزاوي،

وطاقة الوضع، والطاقة الحركية، والطاقة الكلية، والسرعة، والتسارع، والتي نصف بدلالتها حركة الجسيمات بالنسبة إلى بعضها وتفاعلها مع بعضها.

والحقّ أن مفهوم الجسيْم الكلاسيكي، بما يقترن به من مفاهيم كينماتية وديناميّة، وافٍ وكافٍ ما ظلّ وصفنا وتحليلنا مقتصرين على تصادمات الأجسام الجاهرية المألوفة، والتي نصادفها في حياتنا اليومية. مع بعضها. ولكن ما إن نحاول تخطي هذا الميدان المحدود إلى ميدان تجاذب الأقمار والكواكب والنجوم والظواهر الكهروستاتية والمغناطيسية مثلاً، حتى نضطر إلى افتراض أن الطاقة والزخم وغيرهما من الكميات الديناميّة لا تقترن بالجسْيمات فحسب. بمعنى أن وجودها لا يرتبط بالضرورة بالجسيْمات. بل إنها تقترن أيضاً بالفضاء المحيط بالجسيمات وتتوزع فيه. ثم إنها لا تنتقل بالضرورة من مكان إلى آخر عبر الجسيمات فقط، فهي قد تنتقل بوساطة الموجات الأثيرية أو المجالية أيضاً، كما هو الحال مع الحرارة والضوء.

وهكذا، تكتسب الطاقة والزخم وغيرهما من الكميات الديناميّة معنى جديداً وأهمية جديدة يضفيان عليها استقلالاً ذاتياً ويرفعانها فوق مستوى الحواس الضيّق. فهي ليست مجرّد «ذيل» للجسيْمات، ولا سمات لحركاتها. ولا وسائل لوصف تصادماتها مع بعضها، بل إنها سمات عامة للوجود المادي. كائناً ما كانت هيئته. وهي لا تقترن بالجسيْمات إلا من حيث إن الأخيرة هيئة من هيئات الوجود المادي. فهي لا تحدّد الحالة المادية الديناميّة للجسيْمات فحسب، بل إنها تحدّدها أيضاً للمجالات Fields. تلك الأنظمة المادية التي «تملأ» الفضاء المحيط بالجسيْمات ويتم من خلالها وعبرها تأثير الجسيمات على بعضها (المجال الجاذبي، المجال الكهروستاتي، المجال المغناطيسي). وهكذا، فإن الكون ليس مجرّد خضم من الجسيمات كما تصوّر الفيلسوف «ديكارت» Descartes في القرن السابع عشر، بل إنه خضم من الجسيْمات والمجالات (مجالات الطاقة) اللتين تختلفان اختلافاً كيفيا عن بعضها، بمعنى أنه ليس ثمة من سبيل إلى تحول الواحدة إلى الأخرى، ولا

إلى تعريف أرضية مشتركة تتوحدان ضمنها. ولكن، إن كان الفصل بينهما مطلقاً إلى هذا الحدّ، فكيف السبيل إلى تفسير العلاقة الجذرية بينهما، من حيث إن الواحدة تشكل في النهاية مصدر وجود الأخرى، وتؤثر فيها وتتأثر بها؟ هذا ما سوف نجيب عنه في البند الثاني من هذه المقالة.

آينشتاين يطيح بالأثير

في البند الأول من هذه المقالة، طرحنا تعريفاً عاماً وشاملاً لمفهوم الجسيم الكلاسيكي، الذي يعدّ أحد الأعمدة الأساسية للهيكل المفهومي للفيزياء الكلاسيكية، فعرّفناه بأنه نقطة هندسية تتميز عن غيرها من النقط الهندسية بأبعادها الكينماتية والدينامية التي تحدّد حركتها في مسارات معينة. ثم ذكرنا أن العلماء الكلاسيكيين وجدوا أن نمطاً كاملاً من الظواهر الطبيعية يتخطّى إطار هذا المفهوم بوصفه محوراً مفهومياً، فاضطروا إلى اللجوء إلى مفهوم محوري آخر، هو مفهوم المجال Field، الذي يغاير مفهوم الجسيم الكلاسيكي جوهرياً ويستثنيه كلياً. ومن هنا جاء قولنا ان الازدواجية المطلقة بين الجسيْم (المادة) والمجال (الطاقة) شكّلت المحور العقائدي للتصور الكلاسيكي في الفيزياء.

ومن ناحية أخرى، فإنه يمكن القول ان اكتشاف العلماء أن الكميّات الدينامية (الطاقة، الزخم، وما إلى ذلك) لا ترتبط بالضرورة بالجسيْمات وأنها لا تنتقل من مكان إلى آخر بالضرورة عبر الجسيمات ومن خلالها، بل يمكن أن تنتقل أيضاً على صورة موجات تمثّل شكلاً آخر من أشكال الحركة يختلف نوعياً عن الشكل الجسيمي، الذي تحدّد ماهيته قوانين نيوتن الثلاثة المشهورة في الحركة ـ أقول إن اكتشاف العلماء ذلك هو الذي دفعهم في المقام الأول إلى ابتكار مفهوم المجال ورفعه إلى مرتبة مفهوم الجسيْم. ومن ثم، فإنه يمكن اعتبار الفصل النوعي التام بين الحركة الجسيْمية والحركة الموجية الشكل الأمثل للازدواجية المطلقة بين المادة والطاقة في الفيزياء الكلاسيكية.

ولكن، كيف يغاير مفهوم الجسيْم مفهوم المجال جوهرياً ويستثنيه كلياً؟ يتمثل هذا الفصل النوعي في السمات التالية:

* أولاً، إن المجال وَسَط متّصل ومنتشر في سائر أرجاء المكان، فيما أن الجسيمات لا متصلة ومحددة المواضع والسرع. وعليه، فإننا نحدّد الحالة الدينامية للجسيْم الكلاسيكي بدلالة موضعه وسرعته، فيما نحدّدها للمجال الكلاسيكي بدلالة دوال (اقترانات) جبرية متصلة. كذلك، فيما تعتمد طاقة الجسيم مثلاً على نقطة واحدة في المكان في لحظة زمنية معينة، أعني موضع الجسيْم، فإن طاقة المجال تعتمد على جميع النقط المكانية في الحيّز الذي ينتشر فيه المجال، في آن واحد.
* ثانياً، إذا تداخل مجالان معاً، فإن الواحد لا يحدث بالضرورة خللاً في الآخر، بمعنى أنهما قد يلتقيان ويمرّان ببعضهما بسلام دون أن يحدثا أي تغيير دينامي في بعضهما. أما تداخل الجسيْمات معاً، فإنه يقود حتماً إلى تصادمات حادة بينها وإلى تغيّرات جذرية في حالاتها الدينامية.
* ثالثاً، إذا اندغمت مجموعة من الجسيمات معاً، فإن كتلة الجسيْم الناتج تكون مساوية لمجموع كتل الجسيْمات المعنية. ومن ثم تكون الفعالية الدينامية للجسيْم الناتج مساوية لمجموع الفعاليات الدينامية للجسيمات المعنية. أما اندغام المجالات معاً فلا يتم بهذه الطريقة على الإطلاق. فبصورة عامة، لا تكون شدة المجال الناتج في نقطة نمطية من نقط المجال مساوية لمجموع مقادير شدة المجالات المندغمة معاً في هذه النقطة. بل إن المجالات قد تتداخل وتندغم معاً بحيث ينفي بعضها بعضها الآخر كلياً في بعض النقط والبقاع (مثلما يحدث في حال تداخل الضوء).
* رابعاً، يبدو للوهلة الأولى أنه ليس ثمة فرق يذكر بين الحركة الجسيْمية والحركة الموجية المجالية، من حيث إن الجسيْم والموجة المجالية كليهما يتحرك وينتشر، في غياب المؤثرات الخارجية الفعالة والملموسة، في خطوط ومسارات مستقيمة. بيد أن هذا الوهم سرعان ما يتبدّد حين يعترض طريق الجسيْمات والموجات المتحركة في مسارات مستقيمة عوائق مادية ملائمة (قريبة أبعادها من أبعاد الجسيْمات والموجات المعنية). عند

ذلك يتضح الفرق الهائل بين انتشار المجالات وانتشار الجسيْمات. وعلى سبيل المثال، فإن المجالات تنحني وتنحرف في حركتها عند الحواف والأطراف الدقيقة وحولها (ظاهرة حيود الموجات). أما الجسيمات فلا تبدي مثل ذلك السلوك.

خامساً، تتميّز الجسيْمات عن المجالات بأنها بالضرورة تملك قصوراً ذاتيا أو كتلة قصورية. فلا يكون الجسيْم جسيْماً في الفيزياء الكلاسيكية إن كان عديم الكتلة. وبالمثل، فإن المجال الكلاسيكي لا يكون مجالاً، بل يكون خضماً من الجسيْمات الكلاسيكية، إن كان ذا كتلة. فالمجال ليس سوى مخزن للطاقة الحرة، أو قل إنه شكل من أشكال الطاقة. بل يمكن القول ان الكتلة تمثّل جوهر المادة في الفيزياء الكلاسيكية، فيما تمثّل الطاقة الحرة الخالصة جوهر المجال.

فأنت ترى إذن أن الجسيْم والمجال (المادة والطاقة) يستثنيان بعضهما كلياً، وأن ثمة فصلاً نوعياً وازدواجية مطلقة بينهما. ومع ذلك فإن كليهما ضروري لوصف الظواهر الطبيعية على النطاق الجاهري. ولكن، كيف السبيل إلى التوفيق بين الرابط العميق الذي يربطهما معاً وبين هذا الفصل النوعي؟ فالجسيْم هو مصدر المجال. والمجال هو مصدر حركة الجسيْم. فالواحد يؤثّر في الآخر ويتأثر به. كذلك فإن المؤثرات الطاقية المجالية (الموجات مثلاً) التي تمثّل حركة المجالات لهي مادية بوصفها تؤثر على الحالات الدينامية للجسيْمات لكنها لا مادية بوصفها لا تملك كتلة، أي بفعل الفصل النوعي المطلق بين المادة والمجال، في آن واحد. فلمّا كانت إمكانية تحويل المادة إلى طاقة (الجسيْمات إلى مجالات) معدومة في الفيزياء الكلاسيكية، فلم يكن ثمة من سبيل مقنع إلى تفسير علاقة الفعل المتبادل بينهما ضمن إطارها.

وقد حاول العلماء الكلاسيكيون التغلّب على هذا التناقض بافتراض وجود وسط مادي غير ملموس يملأ المكان برمته ويتخلّل الأجسام المادية نفسها. وقد أطلقوا عليه اسم الأثير Ether. واعتبروه شكلاً من أشكال المادة (لا

الطاقة)، وإن عجزوا عن تحديد علاقة التحوّل بين الأثير والأشكال الملموسة للمادة، مع أن مثل هذا التحديد شرط من شروط اعتبار الأثير شكلاً من أشكال المادة. ثم إنهم عزوا وجود المجالات إلى ضغوط والتواءات في الأثير تنجم في المقام الأول عن وجود الجسيْمات المادية وعن حركتها في الأثير. كذلك، فإنهم تصوّروا الضوء، وغيره من الإشعاعات المجالية التي كانوا يألفونها، على شكل تموجات وذبذبات في هذا الأثير، فاتخذوا بذلك الصوت أنموذجاً ميكانيكياً للإشعاعات المجالية وانتشارها (هذا إذا استثنينا بالطبع حقيقة أن الموجات الصوتية طولية Longitudinal، فيما أن الموجات الضوئية مثلاً عمودية Transverse). وعلى هذا الأساس استطاع العالم الفيزيائي الفرنسي فرينل Fresnel، تفسير معظم الظواهر الضوئية التي كانت معروفة في عصره (مطلع القرن التاسع عشر). بيْد أنه عجز عن تفسير بعض الظواهر المهمة، مثل قوانين انعكاس الضوء وانكساره عند سطح فاصل بين وسطين ماديين شفافين. ولم تجد هذه القوانين تفسيراً مقنعاً لها إلا في ضوء قوانين ماكسويل في الكهرومغناطيسية، وذلك في النصف الثاني من القرن التاسع عشر. ولقد دلّ عجز الأنموذج الأثيري في تفسير هذه القوانين على فائدته المحدودة (جدّاً!) في تفسير الظواهر المجاليّة عامة، ومن ثم فقد شكّل هذا العجز إرهاصاً لما سيلحق بالأثير فيما بعد من ضربات ماحقة قاتلة على يدي ألبرت آينشتاين.

بيد أن الأمر لم يقف عند حدّ عجز الأثير عن تفسير بعض الظواهر المجالية. فمع تراكم المعرفة التجريبية في القرن التاسع عشر، اضطر العلماء إلى إلصاق المزيد من الخواص الفيزيائية الغريبة والمتنافرة معاً بالأثير، فاستحال هذا الأخير في نهاية القرن التاسع عشر جامعاً لكل التناقضات التي كانت تنخر جسم الفيزياء الكلاسيكية، ومن ثم غدا مصدر حرج كبير وعبئاً هائلاً على كاهل النظرية الفيزيائية. ومع ذلك فلم يجرؤ أحد من العلماء الكلاسيكيين آنذاك على الإطاحة به أو نبذه حتى كان ألبرت آينشتاين. لكن آينشتاين لم

يكن عالِماً كلاسيكياً، بل كان التجسيد الأعظم للثورة المعرفية الكبرى في الفيزياء والتي شهدها الربع الأول من القرن العشرين. بذلك، فقد مثّل النقيض للعالم الكلاسيكي النمطي.

ولكن، كيف نقض آينشتاين مفهوم الأثير، ذلك المفهوم الذي شكّل أحد المخلّفات القليلة لنظرية الدوّامات Vortices والتي وضعها الفيلسوف الفرنسي المعروف، رينيه ديكارت Rene Descartes، في منتصف القرن السابع عشر؟

في نهاية القرن التاسع عشر، أثير السؤال التالي بصدد مفهوم الأثير: إن كان الأثير مادياً وموجوداً بالفعل، أفليس من الممكن ومن الضروري إثبات وجوده تجريبياً ومخبرياً؟

وهكذا شرع بعض العلماء في تصميم التجارب لكشف النقاب عن وجود الأثير بصورة مباشرة. وتركّزت جهودهم حول إثبات وجود حركة مطلقة بالنسبة إلى الأثير. ذلك أن العلماء الكلاسيكيين لم يكتفوا باعتبار الأثير الوَسَط الذي تبرز ضمنه الظواهر المجالية، بل اعتبروه أيضاً محور الحركة الكونية، بمعنى مرجع الإسناد الذي يتعيّن إرجاع جميع الحركات والقوانين الفيزيائية إليه. وعلى سبيل المثال، فقد اعتبروا قوانين ماكسويل في الكهرومغناطيسية والبصريّات في صورتها النمطية سارية المفعول فقط في مراجع الإسناد الساكنة بالنسبة إلى الأثير. وعليه، فقد اعتقدوا أن سرعة الضوء في الفراغ تتغيّر بتغيّر حركة مصدر الضوء بالنسبة إلى الأثير. وقد أجريت عدة تجارب في نهاية القرن التاسع عشر للتحقـق من ذلك، وكان أشهرها التجربة التي أجراها العالمان الأميركيان: مايكلسون Michelson ومورلي Morley.

بيْد أن هذه التجارب فشلت في كشف النقاب عن أي تغير من ذلك القبيل في سرعة الضوء. وفيما انصرف العلماء الكلاسيكيون إلى إيجاد طرق لإنقاذ مفهوم الأثير من مصيره المحتوم، اعتبر آينشتاين هذه النتيجة وغيرها بمثابة دليل على بطلان التصور الأصلي للأثير، ومن ثم انطلق ليبني نظريته في النسبية الخاصة على أسس أخرى لا تمتّ بصلة للأثير، كما سنبين في مقالات

لاحقة.

وبانهيار مفهوم الأثير، عاد التناقض الحاد بين المادة والطاقة (الجسيم والمجال) يؤرق بال العلماء.

أزمة العقل الكلاسيكي

في البند الثاني من هذه المقالة، فصّلنا أوجه الاختلاف والاستثناء بين مفهومي الجسيم والمجال في الفيزياء الكلاسيكية، وبيّنّا كيف حاول العلماء الكلاسيكيون حلّ التناقض الحادّ بين هذيْن المفهوميْن بوساطة مفهوم الأثير الذي لم يكن في واقع الحال سوى أنموذج مادي ميكانيكي لوصف المجالات وظواهرها المختلفة، ومن ثم كان وسيلة لاختزال مفهوم المجال الى مفهوم الجسيْم. لكن المحاولة فشلت وانهارت تماماً حين تلقى مفهوم الأثير الضربة القاضية على يدي ألبرت آينشتاين في مطلع القرن العشرين.

وفي هذا البند (الثالث)، سنفصّل كيف تفاقم التناقض الرّئيس في الفيزياء الكلاسيكية في الربع الأول من القرن العشرين حتى وصل لحظة الانفجار في عدّة مجالات، وكيف انعكست هذه الأزمات المعرفية على العقل الكلاسيكي.

ظلّ التناقض المنطقي الذي انطوى عليه الفصل النوعي بين الجسيْم والمجال كامناً وراكداً ما ظلّ الهيكل المفهومي للفيزياء الكلاسيكية منسجماً والواقع التجريبي، أعني ما ظلّ قادراً على تفسير النتائج العملية للأسئلة التجريبية التي تم طرحها على أساسه وضمن إطاره. وقد ظلّت محاولات حلّه في فترة كمونه وركوده على هامش الجماعة العلمية والنشاط العلمي واقتصرت على المستوى النظري البحت. وعلى سبيل المثال، فإن النقد الذي وجهه الفيلسوف النمساوي، إرنست ماخ، صوب الميكانيكا النيوتونية في النصف الثاني من القرن التاسع عشر، لم يمس القوانين والمفاهيم الكلاسيكية في حدّ ذاتها، بل مسّ فقط التأويل المادي الميتافيزيقي لهذه القوانين والمفاهيم، لا أكثر. كذلك، فحين حاول لورنتس وأبرهام، في الربع الأخير من القرن التاسع عشر، حلّ التناقض المذكور نظرياً عن طريق اختزال المادة (الجسيْمات) والمجال الجاذبي

إلى المجال الكهرومغناطيسي، كما عرّفه وتصوره ماكسويل، فإنهما لم يحاولا تغيير القوانين الكلاسيكية ولم يمسّا الأسس المفهومية التي ارتكز عليها الصرح الكلاسيكي، بمعنى أنهما تركا البنية التطبيقية للفيزياء الكلاسيكية على حالها دون تغيير يذكر.

وظلّ الحال كذلك حتى العقد الأخير من القرن التاسع عشر يوم تفجّر التناقض الناجم عن الفصل المطلق بين المادة والمجال على النطاق التجريبي وبصورة جليّة لأول مرة في تاريخ العلم. فقد تبيّن عام ١٩٠٠ لدى العالم الألماني، ماكس بلانك، أن طاقة المجال الكهرومغناطيسي، عند تفاعله مع المادة على النطاق الذري المجهري، ليست متصلة، كما يجب أن تكون وفق التصور الكلاسيكي، بل إنها متقطعة، شأنها في ذلك شأن طاقة الجسيمات الكلاسيكية، وكأن المجال الكهرومغناطيسي على النطاق الذري خضم من الجسيْمات. والحق أن بلانك قد اضطر إلى افتراض ذلك بوصف الافتراض المذكور شرطاً حتمياً من شروط تفسير استقرار المادة الصلبة ووجودها. بذلك، برزت أزمة حادة في الهيكل المفهومي الكلاسيكي: فكيف يمكن أن يكون المجال الكهرومغناطيسي مجالاً متصلاً قادراً على التداخل والحيود، وأن تكون طاقته لا متصلة على غرار طاقة الجسيْمات الكلاسيكية، في آن واحد؟

ولم تكد تمضي خمس سنوات على ذلك حتى تلقّى الفصل الكلاسيكي النوعي بين الجسيْم والمجال انتكاسة أخرى على يدي ألبرت آينشتاين الذي بيّن عام ١٩٠٥ أن المجال الكهرومغناطيسي تحت ظروف الاتزان الحراري يسلك إحصائياً سلوك خضمّ من الجسيمات، وأنه لا يمكن تفسير بعض الظواهر الكهرومغناطيسية، مثل المفعول الكهروضوئي، إلا على أساس أن المجال الكهرومغناطيسي يتشكّل من حشد هائل من الجسيْمات. وهكذا ترسّخت الأزمة التي أثارتها نظرية بلانك وازدادت حدة في ضوء نظرية آينشتاين. فكما أشرنا في الجزء السابق، فقد كان العلماء الكلاسيكيون يعتقدون أن الحركة المادية تتمظهر في شكلين أساسيين يستثنيان بعضهما، لا أكثر: الحركة

الجسْيمية والحركة الموجية. وقد حدّد هذا الاعتقاد شكل الأسئلة التي طرحوها بصدد الإشعاعات التي كشفوا عنها النقاب، بما في ذلك الضوء والإشعاع الحراري. إذ سألوا أنفسهم: إلى النمط الجسْيمي أم إلى النمط الموجي تنتمي الإشعاعات الضوئية والحرارية؟ وفي بادىء الأمر (القرنين السابع عشر والثامن عشر)، ساد الأوساط العلمية الاعتقاد بأن الضوء مثلاً ليس سوى سيل من الجسيْمات الكلاسيكية المتماثلة والمنطلقة في أغلب الأحيان في خطوط مستقيمة (ديكارت ونيوتن وهوك). وحاول نيوتن في كتابه «البصريات» اشتقاق خواص الضوء التي كانت معروفة في عصره من ميكانيكا الجسيْمات والقوى التي كان قد بدأ يطورها لتوّه. وظلّ الحال كذلك حتى نهاية القرن الثامن عشر حين بدأ يتبين لدى العلماء (يَنغْ، وفرينل، وفراونهوفر، وهويغنز من قبلهم) أن الضوء يملك خواصاً كالتداخل والحيود لا يمكن تفسيرها إلا على أساس الحركة الموجية. فما كان من العلماء الكلاسيكيين إلا أن تبنّوا التصوّر الموجيّ للضوء بعد أن طرحوا جانباً التصور الجسْيمي النيوترني طرحاً كلياً. وقد اتّخذ هذا التصور (الموجيّ) شكله النهائي الراسخ في النظرية الكلاسيكية المتكاملة للمجال الكهرومغناطيسي، التي تشكّلت في النصف الثاني من القرن التاسع عشر على أيدي ماكسويل ولورنتس وهيرتس وحشد من العلماء الآخرين، والتي اعتبرت الضوء تغيراً موجياً في المجال الكهرومغناطيسي.

بيْد أن ذلك الانقلاب في تصور الضوء لم يمسّ البتة الأسس القاعدية التي ارتكز عليها الهيكل المفهومي للفيزياء الكلاسيكية. إذ إنه ظلّ يحوم ضمن حدود مبدأ ازدواجية المادة (الجسْيم) والمجال (الموجة)، من حيث إنه جاء نتيجة حتمية للسؤال عمّا إذا كان الضوء مادة أم مجالاً، ذلك السؤال الذي يمثّل شكلاً من أشكال مبدأ الازدواجية المذكور. أما اكتشافا بلانك وآينشتاين، فقد تخطيا الحدود المنطقية (فضاء إمكانات) هذا السؤال تخطياً كاملاً وناقضا منطق الفيزياء الكلاسيكية إياه، ومن ثم أدخلا التصور

الكلاسيكي في أزمة مصيرية ووضع ثوري. وبعبارة أخرى فقد سلّطا الأضواء على حدود المنطق الكلاسيكي ومدى قصوره، وأشارا إلى ضرورة تخطي هذا المنطق جدلياً إلى منطق آخر أرحب مجالاً وأشمل تطبيقاً.

ومن ناحية أخرى، وفي الفترة ذاتها (النصف الثاني من العقد الأول من القرن العشرين)،توصل ألبرت آينشتاين، من خلال دراسته العلاقة بين الطاقة والقوة في ضوء نظريته في النسبية الخاصة، إلى علاقة جذرية بين الطاقة والكتلة تعكس إمكانية تحويل الواحدة إلى أخرى. فما علاقة التناسب الطردي بين الطاقة والكتلة في النسبية الخاصة سوى علاقة تحويل ($E = mc^2$). ولمّا كانت الكتلة جوهر المادة، فيما أن الطاقة هي جوهر المجال، وفق التصور الكلاسيكي، فقد كانت علاقة آينشتاين بمثابة دلالة على إمكانية تحويل المادة إلى مجال، والعكس بالعكس. بذلك أزال آينشتاين وجهاً آخر من أوجه الفصل النوعي بين المادة والمجال.

كذلك، ففي نهاية القرن التاسع عشر، تمّ الكشف عن أنماط جديدة من الإشعاعات فسّرها العلماء الكلاسيكيون على أنها إشعاعات مادية. لا مجالية. بمعنى أنها سيْل من الجسيْمات المجهرية الأولية التي تملك كتلاً محددة. ذلك أن كون هذه الإشعاعات مشحونة حتّم هذا التأويل لطبيعتها. حيث إن المجالات لا تحمل شحنات كهربائية ولا كتلاً وفق التصوّر الكلاسيكي. لكن هذا التأويل لم يصمد طويلاً في وجه النتائج والاكتشافات المتعلقة بهذه الإشعاعات، والتي بدأت تتبدّى في مطلع القرن العشرين. إذ تبيّن أن هذه الإشعاعات المادية أيضاً تحمل خواصاً موجية بالإضافة إلى الخواص الجسيْمية، ومن ثم أن الفرق بين المادة والإشعاعات الكهرومغناطيسية (بما في ذلك الضوء) ليس مطلقاً ولا قاطعاً إلى الحدّ الذي افترضه التصور الكلاسيكي.

وهكذا، فما إن شارف العقد الأول من القرن العشرين على الانتهاء، حتى كانت الأزمة المصيرية في الفصل النوعي بين الجسيْم والمجال قد تفجرت على عدة جبهات وفي عدة ميادين: ميدان التفاعلات بين الجسيْمات والمجالات،

وميدان الإشعاعات المجالية، وميدان الإشعاعات المادية، وميدان التركيب الداخلي للذرة.

ولكن، كيف تفجرت هذه الأزمة في ميدان التركيب الداخلي للذرة؟ وكيف انعكست على العقل الكلاسيكي، وعلى نظـرة من مثله إلى الوجود؟ هذا ما سوف نجيب عنه في البند اللاحق (الرابع) من هذه المقالة.



فولفغانغ باولي

كيف يتسنّى لنا رؤية باطن الذرة؟

في البند السابق من هذه المقالة، قلنا إن التناقض القائم بين مفهومي الجسيْم والمجال الكلاسيكيين، والذي يشكل المحور العقائدي للتصور الكلاسيكي، قد وصل إلى مرحلة التأزّم في مطلع القرن العشرين في عدة ميادين: ميدان تفاعل المجال مع المادة، وميداني الإشعاعات المجالية والإشعاعات المادية، وميدان التركيب الداخلي للذرة. ثم فسرنا ببعض التفصيل الكيفية التي تم بها ذلك في الميادين الثلاثة الأولى. أما في هذا البند فسنتناول بإيجاز الكيفية التي تأزّم بها التناقض المذكور في ميدان التركيب الذري للمادة.

كلّنا نعلم أنه إذا أردنا رؤية الأشياء في غرفة معتمة تحت الظروف الحرارية العادية، فإننا نسلّط عليها أشعة ضوئية من مصباح، لتنعكس هذه الأشعة وتتشتت عن الأشياء المعنية، حاملة معها إلى أعيننا ما يكفي (عملياً) من المعلومات الحسية عن الأجسام المحيطة بنا. ذلك أن توزيع الضوء المشتّت يعكس جانباً مهماً من جوانب الهيئة الجاهرية Macroscopic للأجسام المادية، بمعنى أنه يشكل شبكة من المعلومات والبيانات المهمة عنها. هكذا نرى الأشياء، وهكذا نتعرّف عليها، أو قل على جانب مهم منها.

ولكن، ماذا لو أردنا التعرف على جوانب أخرى منها؟ فالضوء لا يكشف سوى عن وجه واحد من الأوجه المتعددة للمادة. كيف السبيل إلى «رؤية» الأوجه الأخرى؟

من المعلوم أن الضوء لا يشكّل سوى جزء ضئيل جداً من الطيف الكهرومغناطيسي. فإذا أردنا رؤية الأوجه الأخرى للمادة كان علينا أن نسلّط

عليها أنواعاً أخرى من الإشعاعات (الكهرومغناطيسية وغيرها) بدلاً من الضوء، وأن نكشف عن توزيعها بعد تشتتها باستعمال أدوات ملائمة «تحسّ» بها بدلاً من العين البشرية التي لا تحسّ بها. وهذا بالضبط ما فعله العلماء وما يفعلونه منذ مطلع هذا القرن للغوص في باطن المادة وكشف النقاب عن أوجهها المتعددة. وعلى سبيل المثال، فقد وجد العالم الألماني «فون لاوه»، والعالم البريطاني «براغ»، في الربع الأول من هذا القرن، أنه في مقدور المرء «رؤية» توزيع الذرات (مواضعها بالنسبة إلى بعضها) في أكثر المواد البلّورية تعقيداً بتسليط الأشعة السينية (أشعة إكس) عليها، وتشتيتها عن ذرّاتها. فالمسألة إذن هي مسألة اختيار الإشعاع المناسب للكشف عن المستوى المطلوب. فكلّ إشعاع له نفاذيته المميزة، ومن ثم مستوى فعله المميّز.

في ضوء ذلك كله، كيف يتسنى لنا رؤية باطن الذرة؟ ما الإشعاع الذي يتعيّن استعماله للكشف عن باطن الذرة؟

من الطبيعي أنه يتعيّن على مثل ذلك الإشعاع أن يكون ذا نفاذية عالية جداً حتى يتسنّى له النفاذ إلى باطن الذرة والتشتت عنه. وهذا بالضبط ما أدركه العالم البريطاني (النيوزيلندي الأصل)، «إرنست رذرفورد»، في مطلع العقد الثاني من القرن العشرين. وكان وقتها يعمل في جامعة مانشستر في إنجلترا ضمن إطار برنامج البحث الذي أعدّه عالم بريطاني عظيم آخر. هو «ج.ج. تومسون»، الذي كان يدير آنذاك مختبر «كافنديش» الشهير في جامعة كمبردج في إنجلترا.

لقد أدرك رذرفورد أن الإشعاعات الكهرومغناطيسية قاطبة ليست قادرة على النفاذ إلى باطن الذرة، ومن ثم على «إنارة» ذلك الباطن. فما كان منه سوى أن أمر مساعديه بتسليط إشعاع ألفا النفّاذ والموجب الشحنة على صفيحة رقيقة من الذهب. وكان رذرفورد قد اكتشف قبل ذلك ببضع سنوات أن إشعاع ألفا ليس سوى فيض من أيونات غاز الهيليوم. وكانت نتيجة هذه التجربة، والمتعلقة بتوزيع إشعاع ألفا بعد تشتته عن ذرّات

الصفيحة، مذهلة بحق بالنسبة إلى رذرفورد ومساعديه. فقد دلّت بصورة قاطعة (قاطعة وفق التصور الكلاسيكي على الأقل) على أن الشحنة الموجبة كلّها تتمركز في حيّز صغير في الذرة يكاد لا يذكر بالنسبة إلى حجم الذرة بوصفها كلاً، وأن الإلكترونات، التي تحمل الشحنة السالبة للذرة، تدور حول النواة الموجبة (التي تحمل معظم كتلة الذرة) في مدارات واسعة جداً بالنسبة إلى النواة. هكذا تمكّن رذرفورد من «رؤية» باطن الذرة وتركيبها الداخلي. وهكذا تقريباً تمكّن العلماء بعده من «رؤية» باطن النواة، حتى انتهى بهم المطاف في العقدين الأخيرين إلى رؤية باطن البروتون ذاته، فرأوا الكواركات Quarks أو ما يسميها البعض البارتونات Partons تمايل معاً في رقصة مجهرية مثيرة في قلب البروتون والنيوترون وغيرهما من الجسْيمات دون النووية (ثلاثة كواركات لكل بروتون أو نيوترون، وكوارك وضديد كوارك Anti-Quark لكل ميزون).

ولقد نبعت الدهشة التي أثارتها نتيجة تجربة رذرفورد في نفوس رذرفورد ومعاصريه من تعارضها مع توقعات علماء ذلك الزمان والتي تمّ تصورها وطرحها على أساس الفيزياء الكلاسيكية (بطبيعة الحال). فالحق أنه لم يكن من السهل تفسير استقرار الصورة «الكوكبية» للتركيب الداخلي للذرة والتي استقاها رذرفورد من بيانات تجربته، بل إن تفسيره كان من «سابع» المستحيلات في نظر الكثير من العلماء. هذا من ناحية. ومن ناحية أخرى، فقد كان هناك تعارض صارخ بين التصور الكلاسيكي لحركة الإلكترونات حول النواة وبين الأطياف الكهرومغناطيسية التي تبثّها ذرّات الغازات. بمعنى أن الأطياف التي كانت تتوقعها الفيزياء الكلاسيكية، بفعل تسارع الإلكترونات حول النواة، كانت تختلف كيفياً عن الأطياف الحقيقية (التجريبية).

وفي عام ١٩١٣، استنتج العالم الدينماركي نيلز بور، الذي كان آنذاك على اتصال وثيق مع كل من تومسون ورذرفورد، أنه لا يمكن ربط هذه الحقائق

المتنافرة ظاهرياً (أنموذج رذرفورد، الأطياف الكهرومغناطيسية المنبعثة من الغازات، استقرار الذرة) إلا بافتراض أن نمط تغيّر الكميات الفيزيائية مع بعضها على النطاق الذري يختلف عنه على النطاق الجاهري بصورة كيفية. وبصورة عامة، فإن هذه الكميات لا تتغير على النطاق الذري بصورة متصلة، كما تفترض الفيزياء الكلاسيكية، بل تتغير بصورة متقطعة، لا متصلة. ولا يقتصر هذا الأمر على الطاقة، كما قد يظن المرء على أساس نظرية بلانك، بل إنه يمسّ أيضاً الكميات الفيزيائية الأساسية الأخرى (كالزخم الزاوي، والموضع). وهكذا فإن بنية التغيير، ومن ثم كيفية تمثيل الكميات الفيزيائية، على النطاق الذري، تختلفان كيفياً عنهما على النطاق الجاهري. وبطبيعة الحال، فإن هذا يستلزم إعادة النظر، لا في الفصل النوعي بين مفهومي الجسْم والمجال الكلاسيكيين فحسب، بل إعادته أيضاً في كل من المفهومين على حدة، وتحويله بما يتناسب ومنطق العالم المجهري. وهكذا... أزمة ثورية جديدة في ميدان جديد.

ماذا كان ردّ فعل العقل الكلاسيكي (أو بالأحرى ردّ فعل من مثّله) إزاء هذه الأزمات الثورية الحادة؟ هذا ما سنجيب عنه ببعض التفصيل في البند اللاحق.

نقد العقل الكلاسيكي

في البنود السابقة من هذه المقالة، أكّدنا على أن الفيزياء الكلاسيكية التي وصلت أوج نجاحها في القرن التاسع عشر والتي شيّدت على أساس الأنموذج المحكم الذي طرحه نيوتن في كتابه «المبادىء» ـ أقول: إن الفيزياء الكلاسيكية انطوت على هيكل مفهومي عماده الفصل النوعي بين مفهومي الجسيْم والمجال الكلاسيكيين. ثم بيّنا كيف دخل هذا التصور في حقبة من التأزم الثوري على عدة جبهات، وذلك حين اضطرت بعض البيانات التجريبية العلماء الكلاسيكيين إلى النظر إليها وتأويلها بدلالة مفهومي الجسيْم والمجال في آن، رغم استثناء الواحد الآخر.

بيْد أنه قد يقول قائل هنا: لِمَ اضطر العلماء الكلاسيكيون إلى النظر إلى تلك البيانات بدلالة الهيكل الكلاسيكي؟ أما كان بمقدورهم النظر إليها بدلالات أخرى؟

للإجابة عن هذين السؤالين، يجدر أولاً إدراك أنه لا يمكن النظر إلى أي قراءة تجريبية أو أي ظاهرة في عريّها، وبالعين المجردة، إن جاز التعبير. فالنظر في هذه الحالة وفي حدّ ذاته يفترض في طبيعته منظوراً نظرياً يتمّ النظر من خلاله، فلا يمكن البتّة النظر إلى الظواهر إلاّ من خلال منظور نظري أو هيكل مفهومي معيّن، وذلك بحكم ماهية النظر ذاته. وعليه، فلمّا كانت التجربة العلمية ليست سوى سؤال عملي، بمعنى أنها ليست سوى وسيلة عملية لاستنطاق الظاهرة، ومن ثم للنظر إلى بواطنها ومكامنها، فلا تجربة علمية بلا نظرية علمية (مثلما أنه لا نظرية علمية بلا تجربة علمية). ذلك أن المنظور النظري يشكّل شرطاً أساسياً من شروط الفعل (النشاط) العلمي ذاته، سواء أكان هذا الفعل نظراً (مشاهدة ورصداً) أم ممارسة (تجربة وتجريباً).

وفي ضوء ذلك كلّه، فإنه لمّا كان المنظور الكلاسيكي المنظور الوحيد لدى العلماء الكلاسيكيين، فقد كان من الطبيعي أن ينظروا إلى الظواهر المجهرية ذاتها من خلاله، رغم قصوره عن استيعابها. بل إن التناقض بين الظاهرة المجهرية والهيكل المفهومي الكلاسيكي هو الذي أدّى إلى تطوير منظور جديد أشمل قاعدة وأرحب أفقاً. وبعبارة أخرى فإنّه لم يكن لدى العلماء الكلاسيكيين بديل للتصور الكلاسيكي. فهم قد طوّروا البديل الوحيد لذلك التصور من مادة التصور القديم ذاته، ومن خلال تسخيره في النظر إلى عالم الذرة. فمن البديهي إذن أنه ما كان في مقدورهم النظر إلى الظواهر المجهرية بدلالات أخرى غير الدلالات الكلاسيكية.

بيْد أن الأمر لم يبدُ على النحو المبيّن أعلاه في نظر العلماء الكلاسيكيين أنفسهم. فلم يكن لديهم، بطبيعة الحال، إدراك حقيقي للنسبية التاريخية لمنظورهم النظري، ولا للدور الطليعي للنظرية والتنظير في استنطاق الظاهرة واستجلاء معناها وباطنها. فقد كانوا ينظرون إلى الهيكل المفهومي الكلاسيكي على أنه بنية من الحقائق المادية، أو قل إنهم كانوا يعتبرونه انعكاساً دقيقاً لجوهر بنيوي ميتافيزيقي يكمن في صميم المادة. فاعتبروا الكتلة مثلاً صورة نظرية دقيقة لجوهر المادة (كمية المادة)، واعتبروا الطاقة جوهر المجال. ثم إنهم اعتبروا كلاً من المكان والزمان جوهراً مادياً قائماً في ذاته.

بل إن بعضهم أو بعض من مثلهم من الفلاسفة (كانط Kant مثلاً) ذهب إلى اعتبار القوانين الأساسية في الفيزياء الكلاسيكية مبادىء قَبْليّة à priori تسبق منطقياً الخبرة الإنسانية لأنها تدخل في تشكيل الأخيرة. فهذه المبادىء، في نظر كانط، ليست مشروطة بعدد محدود من الرصدات الطبيعية. بمعنى أنها ليست مجرّد قوانين تجريبية. فهي ليست قوانين عَرَضية. بل إنها مبادىء ضرورية. وتنبع ضرورتها وحتميتها من كونها مبادىء عقلية بحتة. فهي شرط من شروط الخبرة والفهم الانسانييْن في حدّ ذاتها. بذلك فإن العقل الخالص يسلّطها على مادة الحسّ ويشكل الأخيرة، ومن ثم الخبرة الحسية والعقلية، وفقاً

لهذه المبادىء.

وهكذا، فقد نظر الماديون الميتافيزيقيون والمثاليون كلاهما إلى الهيكل المفهومي الكلاسيكي نظرة جوهرية قَبليَّة لا تاريخية ولا جدلية. فلم ينظروا إلى الهيكل المفهومي الكلاسيكي على أنه وسيلة نظرية لاستنطاق نطاق معين من نطاقات الوجود المادي لا أكثر، بل نظروا إليه على أنه حقيقة العالم المادي برمته وجوهره الأزلي. وبتعبير آخر، فإنهم لم ينظروا إلى ذلك الهيكل على أنه إطار نظري أو وسيلة نظرية أنتجها المجتمع الإنساني في حقبة تاريخية معينة من أجل إنتاج المعرفة العلمية، المشروطة تاريخياً، بل نظروا إليه على أنه صورة ذهنية لجوهر أزلي ميتافيزيقي، مادي في نظر البعض، وروحي في نظر البعض الآخر.

لا عجب إذن أن سلّط العقل الكلاسيكي، ممثلاً بمجموعة من العلماء الكلاسيكيين والفلاسفة، ازدواجيته وتناقضاته على العالم المادي المجهري ذاته، حين تأزّم الوضع في مطلع القرن العشرين على نحو ما بيّناه في البنود السابقة. فالحق أنه لم يكن لدى ذلك العقل من خيار إزاء وضع متأزّم كذلك الوضع سوى اعتبار العالم المجهري عالماً مجنوناً تتحكم فيه الازدواجية وتفصل بينه وبين العقل هوة سحيقة. فخشية الإقرار بحدوده وتناقضاته، ومن ثم خشية تخطي ذاته، اضطر إلى إلصاق سمة إنسانية (الجنون) بعالم مادي أصم، وإخراج ذلك العالم خارج نطاق العقل والعقلانية. وهذه حيلة مألوفة غالباً ما تلجأ إليها الفئات والطبقات الاجتماعية التي تخطّى التاريخ منطقها ودورها، ومن ثم عقلانيتها ومبرّر وجودها، وذلك حين تشعر بقرب الواقعة.

ونحن نعلم بالطبع ان العلّة لم تكمن في العالم المادي، بل كانت تكمن في العقل الكلاسيكي ذاته. فلا يعني فشل العقل الكلاسيكي في تأويل ظواهر العالم المجهري أن الأخير يقع خارج نطاق العقل والعقلانية في حدّ ذاتها، بل يعني فقط أنه يقع خارج نطاق العقل والعقلانية الكلاسيكيين، وأن الهوة السحيقة التي ذكرناها أعلاه لا تفصل بينه وبين العقل في حدّ ذاته، بل إنها

تفصل بينه وبين العقل الكلاسيكي فقط. فالحق أن قصور العقل الكلاسيكي الأساسي يكمن في ظنّه بأنه عقل كامل لا يمسّه الزمن ولا التاريخ، ولا يدنسانه، وفي ظنّه بأنه العقل العلمي الوحيد، ومن ثم بأن كل فكر يتخطاه يدخل في نطاق اللامعقول. فقد قام العقل الكلاسيكي بتسليط مفاهيمه المحدودة على العالم المادي، وألصقها عنوة به معتبراً إياها خصائص ثابتة من خصائصه، ثم إنه لما فشلت هذه المفاهيم في تفسير الظواهر المجهرية للعالم المادي ألصق هذا العقل بذلك العالم جوراً تهمة الجنون والازدواجية واللامعقولية. فنحن نعلم اليوم أن الازدواجية المعنية ليست ازدواجية المادة، بل إنها ازدواجية العقل الكلاسيكي. فالعالم المادي براء من مفاهيم ذلك العقل وتناقضاته، وإن كان استكشافه وسبر أغواره هو الذي يظهر هذه التناقضات على السطح. ذلك أنه إذا ما فشل العقل البشري في فهم ظواهر جديدة واستيعابها في فترة معينة من تاريخه، فإن ذلك يعني أن الأسس التي ارتكز عليها العقل في الفترة المعنية قاصرة وتنهشها التناقضات الحادة. عند ذاك، يتعيّن على العقل أن يطور ذاته ومفاهيمه بحل هذه التناقضات حلاً جدلياً. وذلك لمجابهة الضغوطات والتحديات الجديدة التي يفرضها العالم عليه. فليست المفاهيم العلمية التي نستخدمها لفهم العالم المادي سوى نتاج ذهني يبرزه العقل الإنساني إلى حيز الوجود تحت ضغط معرفته التجريبية وحاجاته الاجتماعية والحياتية الأخرى. فإذا تغيّرت هذه المعرفة وتلك الحاجات تغيّراً نوعياً، فمن الطبيعي أن تؤدي إلى حالة من التأزم الثوري في بنية المفاهيم العلمية السائدة، ومن ثم إلى تغيّر نوعي فيها. هذه هي المعادلة التي يتفاعل العقل المجرّد بموجبها مع الطبيعة ويطوّر نفسه من خلالها. إنها محاولة شجاعة من قبل العقل الانساني المحدود لسبر الأغوار اللامتناهية للوجود المادي.

وسنبين في مقالات لاحقة الكيفية التي تخطّى بها العلم أزمته في الربع الأول من القرن العشرين، وتخطّى معها الهيكل المفهومي للفيزياء الكلاسيكية.

الموجات ولغز الضوء

الموجات ولغز الضوء

هل ثمة ما هو أعم وأكثر شيوعاً من الضوء؟ بل، ألم تكن نشأة حاسة البصر في الحيوانات وتطورها استجابة لشيوع الضوء ووفرته على سطح الأرض؟ وفوق هذا وذاك، أليس الضوء الذي يصل إلينا من الشمس هو الأساس المادي الدينامي لوجودنا على ظهر البسيطة؟ فهو هو المسؤول عن بقاء النباتات ونموها، تلك الكائنات التي تشكل القاعدة البيولوجية الطاقية لحياتنا، من حيث إنها تشكل المصدر الرئيس للوقود الذي نستعمله في منازلنا ومصانعنا (الغذاء، والفحم، والنفط). فالحق أن مصادر الطاقة الوحيدة التي تقع خارج هذا النطاق هي المواد المشعة والانشطار والالتحام النوويان. وعلى أية حال، فإن الطبيعة لا تتجلّى لنا بكل روعتها وبهائها إلا بفضل نور الشمس الساطع ونور غيرها من النجوم المتلألئة.

وإن الضوء لهو وسيلة اتصالنا الرئيسة مع النجوم، كما قال غاليليو. من ثم، فهو مصدر معلومتنا الرئيس عن الكون ومكوناته. إذ، باستثناء القلة القليلة من المعلومات التي نستقيها من الأشعة الكونية والشهب السماوية والرحلات الفضائية، فإن جُلّ ما نستقيه من معلومات من الفضاء الخارجي يحمله إلينا الضوء. لاحظ أننا قلنا «جلّه»، لا «كلّه». فهناك أيضاً موجات الراديو والأشعة السينية وأشعة غاما والأشعة فوق البنفسجية التي تحمل إلينا معلومات لا غنى عنها عن الكون. وقل الشيء ذاته بصدد عالم الذرة ونواتها، أعني العالم المجهري. فالضوء يلعب دوراً مهماً بحق في الكشف عن بنية العالم المجهري ودقائقه.

فما هو هذا الرسول الأثيري الذي ما انفكّ يجوب أرجاء الكون الفسيح منذ نشأته قبل عشرين بليون سنة بلا انقطاع؟ ما هو هذا الساحر الجوّال

الذي يصل أركان الوجود المادي ببعضها؟ إن الجواب عن ذلك ليكمن في واحد من التطورات الأساسية التي لحقت بعلم الفيزياء في النصف الثاني من القرن التاسع عشر. بيْد أن التطور المذكور لم يهبط على الجماعة العلمية هبوط الوحي على الأنبياء، بل جاء تتويجاً لجهود ثلاثة قرون من البحث المتواصل الذي سخّر المشاهدة والتجربة والتكهن والفرضية والنظرية أداة لسبر أغوار الضوء. فكيف تم ذلك؟

كلّنا نعلم اليوم أن الضوء ينطلق في الفراغ في خطوط مستقيمة وبسرعة ثابتة تبلغ ثلاثمائة ألف كيلـومتر في الثانية. وهي سرعة كونية عامة تشكّل ثابتاً من ثوابت الطبيعة من حيث إنها لا تتغيّر بتغير سرعة مصدر الضوء. وبفضل سرعة الضوء الهائلة، فإن في مقدوره أن يدور حول الكرة الأرضية دورة كاملة في غمضة عين (أي، في حوالى عُشر الثانية). وهو إلى ذلك لا يستلزم سوى بضع دقائق لقطع المسافات الهائلة بين مكوّنات المجموعة الشمسية (من شمس وكواكب وأقمار).

ههنا نطرح السؤال الجوهري في هذه المقالة: عند إرسال إشارة ضوئية من نقطة إلى أخرى، فما ماهية الشيء الذي ينتقل (من المصدر إلى المستقبل)؟.

بادىء ذي بدء (القرنان السادس عشر والسابع عشر)، وفي ضوء شيوع التصور المادي المكيانيكي للكون، ظنّ الدارسون أن مصدر الضوء يبثّ وحدات منفصلة ومتقطعة من الضوء (ذرات أو لبنات ضوئية، إن شئت)، أو قل مجموعة من الدقائق أو النبضات النيوتونية المجهرية التي تتنوع بتنوع الألوان. بل، حتى نيوتن العظيم ذاته نادى بأن الضوء ليس سوى سيل من الدقـائـق المتناهية في الصغر والتي تتحرك وفق قوانين الميكانيكا التي تحمل اسمه، وبنى على أساس ذلك صرحاً نظرياً مهيباً في كتابه المشهور «البصريات» ـ (لكنه مع ذلك لم يلتزم التزاماً كلياً بهذا التصور، فقد اعترف بإمكانات أخرى).

وقد كان «كريستيان هويغنز»، الذي عاش في هولندا في القرن السابع عشر، أول من اقترح بجدية وتفصيل وإصرار أن الضوء حركة موجية في

أساسه. ثم إن «توماس يَنْغْ» الإنجليزي و «أغسطين فرينِل» الفرنسي بيّنا فيما بعد (مطلع القرن التاسع عشر) وبصورة قاطعة أن الضوء يسلك في سيره وانتقاله، وعلى المستوى الجاهري Macroscopic ، سلوك الموجات.

ولكن، ما الموجة؟

إننا نألف الموجات المائية مثلاً. وهي، بطبيعة الحال، ليست خير أنموذج توضيحي لدراسة الموجات الضوئية. ذلك أن الموجات المائية ثنائية البُعد، حيث إنها ليست سوى تغيّر دوري في هندسة سطح الماء الثنائي البُعد، فيما أن الموجات الضوئية ثلاثية الأبعاد، حيث إن التغيّر الدوري في هذه الحال لا يمسّ سطحاً واحداً فحسب، بل يمس عدداً لا متناهيا من السطوح في المكان الثلاثي الأبعاد. لكنها (أي الموجات المائية)، مع ذلك كلّه، تشكّل أنموذجاً مفيداً في وصف بعض خواص الضوء على الأقل. فالحركة واحدة في جوهرها في كلتا الحالَيْن، رغم أن الوَسَط الذي تنتقل عبره الموجات المائية (سطح الماء) وَسَط ملموس، فيما أن وسط الضوء، إن كان هنالك وسط للضوء على الإطلاق، وَسَط غير ملموس بتاتاً.

فإذا تدبّرنا الموجات المائية ودققنا النظر في كيفية انتقالها على سطح الماء، تبيّن لدينا أن الموجة ليست سوى مجموعة من التغيّرات الدورية (المتكررة) في المكان والزمان في الوَسَط المعني (سطح الماء مثلاً). أو قل إنها بمثابة مجموعة من الالتواءات في الوَسَط المعني والتي تنتقل من موقع إلى آخر وتتغير مع الزمن. فنحن نرى منحنيات ترتفع وأخرى تنخفض على سطح الماء، عند مرور موجة عبره. فليست الموجة في هذه الحال سوى مجمل الأشكال الهندسية التي يتغيّر بها سطح الماء في المكان والزمان. بيْد أن انتقال الموجة لا يصاحبه البتة انتقال أي من الأجزاء المادية التي تشكّل الوَسَط. فالذي ينتقل هو التغيّرات المكانية الزمانية التي تطرأ على السطح في حدّ ذاتها. أما جزيئات الماء، فتبقى مكانها دون أن تنتقل، بمعنى أنها تدخل في تذبذبات حول مراكزها، عند مرور الموجة عبرها، دون أن تنتقل. ما الذّي ينتقل إذن؟ من

الواضح أن الذي ينتقل في هذه الحال لهو الطاقة وحدها، دون أن يصاحب انتقالها انتقال المادة الملموسة (كما هو الحال مع انتقال الأجسام المادية الملموسة). أو قل إن الموجة تنقل التأثيرات المادية من مكان إلى آخر، دون أن تنقل المادة الملموسة إياها في آن. فالموجة هي وسيلة نقل الطاقة في نقائها وعريها. فحين أدفع سطح الماء إلى الداخل بإصبعي، فإن الذي ينتقل على شكل موجة لهي الدفعة ذاتها، لا المادة المدفوعة. والحق أنه في مقدور الموجات المائية نقل مقادير كبيرة من الطاقة من مكان إلى آخر. وأكبر دليل على ذلك ما يمكن أن تحدثه من دمار أمواج البحار الهائجة، وبخاصة عند الشواطىء.

وثمة مثل موجيّ آخر أقرب إلى الضوء، من حيث إنه ثلاثي الأبعاد أيضاً. إنه الصوت. وإن الوَسَط الذي يحمل الموجات الصوتية لهو الهواء. أما التغيّرات الدورية التي تطرأ على هذا الوَسَط وتظهر على شكل موجات صوتية، فهي التغيّرات المكانية الزمانية في ضغط الهواء. وعلى سبيل المثال، فإن الصوت ينبعث من مكبّر الصوت بفعل اهتزاز غشاء رقيق في المكبر. وينجم عن هذا الاهتزاز ارتفاع في ضغط الهواء الملامس للغشاء تارة، وانخفاض فيه طوراً. فتنشأ في ذلك الضغط سلسلة من الارتفاعات والانخفاضات المتكررة والمتتالية (الدورية) ما ظل الغشاء يهتز. ولا تلبث هذه التغيّرات الدورية في الضغط أن تنتقل من موضع الغشاء المهتز إلى المكان المحيط بالمكبّر في جميع الاتجاهات، تماماً كما يحدث عند إثارة اضطراب حركي في نقطة على سطح الماء، حيث تنطلق الموجات المائية من نقطة الاضطراب على شكل دوائر في جميع الاتجاهات. ولكن فيما تبقى الموجات المائية على السطح، فلا تبرحه قط، فإن الموجات الصوتية تنطلق في جميع الاتجاهات في المكان الثلاثي الأبعاد. بذلك، فإن الموجة الصوتية ليست سوى حالات متتالية من الانضغاط والتمدد، تنتقل عبر الهواء من مكان إلى آخر. وعند وصولها إلى الأذن واصطدامها بها، فإنها تنقل حركتها الاهتزازية إلى طبلة الأذن. إذ ذاك، تهتزّ الأخيرة بكيفية اهتزاز الهواء وغشاء المكبر ذاتها. هكذا نسمع الأصوات. فليس الصوت سوى

الاهتزاز الآنف ذكره. وكلّما كانت المسافة بين سطحي انضغاط والتمدد الذي يليه أقصر، أو قُلْ كلّما ازداد تردّد الموجات (سرعة تكرارها)، ازدادت حدة الصوت الذي نسمعه. ويسمّى ضعف المسافة المذكورة طول الموجة. أما عدد الانضغاطات أو التمددات التي تصل إلى الأذن (أو تمرّ بنقطة ثابتة) في الثانية، فيسمى تردّد الموجة، كما أسلفنا.



لوي دي برولي

كيف نتصوّر الأشعة الضوئية بوصفها سيولا موجيّة؟

كيف نتصوّر الأشعة الضوئية
بوصفها سيولاً موجيّة؟

لشدّ ما كنت أعجب، وأنا في مرحلة الثانوية، من فكرة أن الأشعة الضوئية ليست سوى سيْل من الموجات. كنت وقتها أردّد بيني وبين نفسي: أيمكن أن تكون تلك الأقلام الرفيعة المستقيمة من الأشعة الضوئية مجموعة من الموجات المتعرّجة؟ إن كان الضوء حقاً كذلك، لماذا إذن يتحرّك في المكان في أقلام رفيعة مستقيمة؟

وهكذا فقد كنت أجد صعوبة كبيرة في الربط بين الظواهر الضوئية كما كنت آلفها وبين مفهوم الموجة كما كنت أتصوّره. ولقد تبيّن لي فيما بعد أن العلّة إنما كانت تكمن في كيفية تخيّلي الموجة، في كيفيّة تصوري إياها. إذ كنت أتصوّرها في جميع أشكالها، بما في ذلك أشكالها الثنائية البُعد والثلاثية الأبعاد، على أنها منحنى جيبيّ يتحرك في بُعد مكانيّ واحد.

وأنا لا أنكر بالطبع أن هذا التصور قد ساعدني في فهم بعض الظواهر المتعلقة بالموجات الأحادية البعد (كالموجات المتحركة عبر حبل رفيع). إلا أنه لم يساعدني في فهم الموجة بوصفها شكلاً كونياً وأساسياً من أشكال الحركة. بل يبدو أنه انتزع آنذاك العنصر الدينامي من مفهوم الموجة في مخيّلتي وقطع تلك العلاقة العضوية الحتمية التي تربط ذلك العنصر بمفهوم الموجة. والحق أنه ربما كان أنسب لوصف وسط الموجات منه لوصف الموجات نفسها. بيْد أن سيئته الرئيسة كانت تكمن في كونه أدّى إلى الخلط ما بين الموجات الأحادية البعد التي يسهل تصورها في العادة وبين الموجات الثنائية البعد ونظيرتها الثلاثية الأبعاد (الموجات المائية والصوتية والضوئية). فقد كان هذا

الخلط السبب الرئيس في عجزي آنذاك عن الربط بين مفهوم الموجة والحركة الضوئية.

وسرعان ما تبيّن لديّ أن حالتي لم تكن استثنائية، بل إن الصعوبة التي جابهتني في هذا الصدد متفشية تفشياً ملحوظاً في الأوساط الطلابية والعامة. بذلك، استنتجت أن الصعوبة لا بدّ أن تكون متأصّلة إلى حدّ ما في المفهوم نفسه. فلنرَ كيف يكون ذلك!

قلت أعلاه إن التصوّر الجيبيّ الساذج المذكور أعلاه لا يساعد المرء على استيعاب الموجة بوصفها شكلاً كونياً وأساسياً من أشكال الحركة في الطبيعة. وهذا القول إنما ينطوي على تعريف الموجة بأنها شكل كوني أساسي من أشكال الحركة. والحق أن شمول هذا التعريف وعموميته يرفعانه تلقائياً فوق التصور الجيبي الساذج أو أي تصور آخر من صنفه. فهو (أي التعريف) يجرّد الموجات من سماتها العَرَضية جميعاً ليبلور جانباً مهماً من جوانب جوهر الموجة ذاته. ذلك أن هذا التعريف لا يرتبط بتصور معين ولا بموجة عينية معينة، بل يرتبط بالبنية الأساسية التي تميز الموجات جميعاً عن غيرها من الموجودات المادية. فإذا درسنا بعد ذلك نمطاً عينياً من الموجات (مثلا الموجات المائية) ابتداء بهذا التعريف، كان في مقدورنا الفصل بين العَرَضي والجوهري، ومن ثم الكشف عن جوانب أخرى لجوهر الحركة الموجية.

ولكن، إن كان الحال كذلك، فما الذي يميز الشكل الموجي للحركة عن غيره من الاشكال (الدقائق والأجسام المادية). للإجابة عن ذلك، نسأل أنفسنا: ماذا يحدث بالضبط عند تحرّك كرة معدنية صغيرة مثلاً من مكان إلى آخر؟

في هذه الحال (الكرة المعدنية)، ليس ثمة تعقيد أو لبس يذكر بصدد ماهية ما يتحرك وينتقل من مكان إلى آخر. فنحن نرى الكرة الملموسة المحسوسة تتحرك وتنتقل. وهكذا، فإن المادة المحسوسة، التي تتميز بكتلتها أولاً وتتميز بشكلها وحجمها ولونها ودرجة حرارتها ثانياً، هي نفسها التي

تنتقل في هذا النمط (الجسْيمي) من أنماط الحركة. أما الموجات، فليس أمر حركتها بمثل هذه البساطة. فإذا وضعنا مثلاً برادة خشب على سطح الماء وولّدنا فيها موجات مائية، وجدنا أن البرادة تتذبذب إلى أعلى وإلى أسفل كلما مرّت بها موجة مائية، لكنها لا تنتقل مع الموجات نفسها، بل تبقى مكانها على السطح وتتذبذب حول مركز ثابت عليه. كذلك، فإذا ولّدنا موجة أحادية البُعد في حبل مشدود مثلاً، ظلّت الدقائق المكونة للحبل مكانها بعد مرور الموجة فيها. ما الذي ينتقل في هذين الحالين إذن؟ لا بدّ أن موجوداً ما ينتقل من مكان إلى آخر. لكن يبدو أنه ليس في مقدورنا أن نراه بأعيننا ولا أن نلمسه بأيدينا مثلما نرى الكرة المعدنية ونلمسها. ولا عجب في ذلك، فإن الطاقة المسؤولة عن الحركة هي التي تنتقل في حال الموجات من مكان إلى آخر، دون أن يرافق انتقالها إنتقال المادة المسحوسة. فهي تنتقل في نقائها وعريتها عبر المكان بهذه الطريقة. وهكذا، فإن ثمة نمطيْن رئيسيْن للحركة في العالم الجاهري (الفيزياء الكلاسيكية): النمط الجسْيمي الذي يرافق انتقال المادة الملموسة فيه انتقال الطاقة بالضرورة، والنمط الموجي (المجالي) الذي تنتقل فيه الطاقة في نقائها بالضرورة، ودون أن ترافقها المادة الملموسة. ولما كانت الطاقة الحرة في نقائها غير مرئية وغير ملموسة، فمن الطبيعي أن يجد المرء صعوبة أكبر في فهم مفهوم الموجة منها في استيعاب مفهوم الجسْيم. ومن البديهي أن يحتاج تصوّر الموجات إلى قدْر أكبر من التجريد والتنظير الذي يعلو بصورة ملحوظة على ما نراه ونلمسه بصورة مباشرة.

ومع ذلك كلّه، ورغم الفائدة الكبيرة لهذا التعريف المجرّد، ورغم كون التعريفات المجرّدة العامة شرطاً أساسياً من شروط تحديد أي مفهوم أو مبدأ، فإنها تظلّ ناقصة ولا تكفي لاستيعاب المفهوم في كليّته. فالحق أن فهمنا المفاهيم العلمية يظلّ قاصراً، ما لم يواكب التعريفات المجردة ويرفدها بناء تصورات وصور ذهنية متطورة تعكس هذه التعريفات وتتممها وتجسّدها عينياً. بذلك فإن التعريفات المجرّدة ليست غاية في حدّ ذاتها، بل إنها ليست

سوى الخطوة الأولى على درب تخطي النماذج والتصورات الأولية الساذجة والتلقائية إلى نماذج وتصورات غنية تفي جوهر الكائن المعني حقه. فلنرَ إذن كيف يمكن بناء أنموذج أدق وأشمل للحركة الموجية على أساس التعريف المجرّد المطروح أعلاه.

ولنبدأ بالموجات الأحادية البُعد، كتلك التي نشاهدها تتحرك عبر الحبال الرفيعة المشدودة. في ضوء التعريف المجرّد المطروح، فإن الموجات ليست سوى تغيّرات طاقية منتظمة في المكان والزمان تكرّر نفسها بين الفينة والأخرى (تغيرات دورية). فإذا ركزنا ناظرنا على مقطع صغير من الحبل المعني عند مرور موجة فيه، وجدنا أنه يمرّ في سلسلة من الحالات التذبذبية التي تتحدّد الطاقة الموجية بدلالتها، ولاحظنا أن هذه السلسلة تقع بين حدّيْن متساوييْن من حيث المقدار ومتضاديْن من حيث الاتجاه. وإذا نقلنا ناظرنا إلى مقطع آخر، وجدنا أن السلسلة ذاتها من الحالات التذبذبية تكرّر نفسها عنده. فإذا نظرنا إلى الحبل برمته في لحظة زمنية معيّنة، رأينا حالات السلسلة المذكورة موزّعة على طول الحبل (في منحنى جيبيّ أو شبه جيبيّ). بذلك، فإن الذي ينتقل في هذه الحال هو الحالات التذبذبية نفسها. ولّما كانت هذه الحالات تكرّر نفسها على طول الحبل، فإنه يمكن تصوّر الموجة على صورة مجموعة من النقط (الدقائق) غير المادية والتي تتميز عن بعضها بحالاتها التذبذبية المختلفة، بمعنى أن كل حالة تذبذبية تحملها دقيقة موجيّة من هذا القبيل. بذلك، فإن تكرار كلّ حالة تذبذبية على طول الحبل يعدل مرور الدقيقة الموجية التي تمثّل الحالة المعنية على امتداد الحبل، وفي جميع مقاطعه، بسرعة الموجة ذاتها.

وبابتكارنا هذه الصورة الجديدة، نكون قد اختزلنا الحركة الموجية إلى حركة مجموعة محدّدة من الدقائق الموجيّة غير المادية والتي تحمل خواصاً طبيعية معينة، وتتفاعل مع بعضها ومع الدقائق المادية المألوفة وفق قوانين ديناميكا الموجات. بيْد أن أهمية هذه الصورة تبرز أكثر ما تبرز عند تعميمها على

الموجات الثنائية البعد والثلاثية الأبعاد.

ففي حال الموجات الثنائية البُعد كالموجات المائية، تبقى الصورة التي ابتكرناها كما هي في جوهرها، سوى أننا نستبدل منحنيات بالنقط (الدقائق). ذلك أن كل حالة تذبذبية في هذه الحال يحملها منحنى هندسي (مجموعة لا نهائية متّصلة من النقط)، لا نقطة واحدة. والحق أن مقدّمات الموجات التي نشاهدها في حوض الموجات المائية ما هي سوى حالات خاصة من المنحنيات المعنية.

وفي حال الموجات الثلاثية الأبعاد، كالموجات الصوتية والضوئية، فإننا نستبدل بهذه النقط والمنحنيات سطوحاً منحنية تتمدد وتتحرك في المكان الثلاثي الأبعاد. بذلك، فعند التكلّم عن الموجات الضوئية المستوية مثلاً، فإننا نعني مجموعة من السطوح المستوية التي تتحرك في المكان حاملة معها الحالات التذبذبية. وعليه، فإن أقلام الأشعة الضوئية مثلاً ليست سوى الخطوط المستقيمة المتعامدة مع مماسات السطوح المنحنية التي تحمل الحالات التذبذبية. هكذا نتصور الأشعة الضوئية بوصفها سيلاً من الموجات، وهكذا تمكّننا هذه الصورة من تقليل حدة التضارب بين تصوراتنا ومشاهداتنا.

لماذا نعتبر الضوء سيلاً من الموجات؟

لماذا نعتبر الضوء
سيلاً من الموجات؟

مع أن العالِم الهولندي الفذّ « كريستيان هويغنز » كان يعوزه الكثير من المعلومات الضرورية عن الضوء والموجات، إلا أنه تبنّى فكرة أن الضوء يسلك سلوك الموجات ونظّرها وفصّلها، وذلك بفضل حدسه العلمي الخارق. كان ذلك عام ١٦٩٠ يوم نشر كتابه الرئيس في هذا الصدد، « أطروحة حول الضوء ».

أما العالم الذي أرسى هذه الفكرة على قاعدة مخبرية مكينة وأقنع الجماعة العلمية بصحتها وضرورتها، فهو توماس يَنْغْ Young الإنجليزي الذي ولد عام ١٧٧٣ وبدأ حياته المهنية طبيباً، ثم ترك الطب وعكف على دراسة البصريّات Optics بُعيْد عام ١٨٠٠. وقد كان يَنْغ أول من توصّل إلى النتائج المخبرية الحاسمة التي أثبتت أن الضوء يسلك سلوك الموجات (على النطاق الجاهري Macroscopic على الأقل). وفي العصر ذاته، تمكّن العالم الفرنسي فرينِل Fresnel من تفسير معظم الظواهر "الضوئية التي كانت معروفة آنذاك تفسيراً مقدارياً دقيقاً، بعد أن أرسى النظرية الموجيّة على أسس رياضية ومفهومية مكينة. بل يمكن القول أن فرينل هو المؤسس الحقيقي للنظرية الموجيّة للضوء.

بعد ذاك، نسأل أنفسنا: لماذا اعتبر هويغنز ويَنْغ وفرينل وغيرهم الضوء سيلاً من الموجات؟ ولماذا نعتبره اليوم كذلك (على النطاق الجاهري بالطبع)؟.

إننا لا نرى الذبذبات الموجية للضوء بصورة مباشرة بطبيعة الحال. لكن ثمة العديد من الطرق غير المباشرة التي تقودنا حتماً إلى استنتاج الطبيعة الموجية

للضوء. وإنك قد تعجب من أن أفضل برهان على الطبيعة الموجية للضوء لا يزال هو البرهان الذي قدّمه توماس يَنْغ منذ حوالى قرنين من الزمان، والذي اثبت بموجبه أن الضوء يتداخل مع بعضه مثلما تتداخل الموجات الصوتية وغيرها من الموجات معاً. والتداخل هو العملية التي يمكن بموجبها إنتاج ظلام دامس من مزج (أو التقاء) شعاعيْن أو أكثر من الضوء تحت ظروف مادية معينة. وهو خاصية جوهرية من خواص الموجات، بمعنى أنه يميزها عن غيرها من الموجودات المادية. فهو يتبدّى في أوضح صورة عند التقاء (أو تداخل) قاع موجة بقمة موجة أخرى مساوية للموجة الأولى من حيث مقدار الاتّساع Amplitude. بذلك، فإن بروز هذه الظاهرة في حال الضوء يدلّ بصورة قاطعة على أن الضوء يملك خواصّاً موجية، أو قل إنه يسلك سلوك الموجات على نطاق معين. ويمكنك مشاهدة هذه الظاهرة بوضوح بتحريك (هزّ) إصبعين متجاورين في إناء، تحتوي ماء، حركة متزامنة؛ أعني تحريكهما بالحركة ذاتها في آن. عند ذاك يتولّد سيلان متزامنان من الموجات ويتداخلان معاً بحيث تتشكل حزم «مظلمة» وأخرى «ساطعة» على فترات مكانية منتظمة. ذلك أن التقاء القاع بالقاع أو القمة بالقمة يعزز الاتساع (السطوع)، فيما أن التقاء القاع بالقمة يقود إلى انتفاء الاتساع كلياً (ظلمة) عند نقطة الالتقاء.

وهناك العديد من الظواهر الطبيعية الطريفة التي تبرز بفضل عملية التداخل هذه. خذ مثلاً تلك الحلقات الملونة التي تظهر في بقع الزيت الرقيقة (الصغيرة السماكة) والمتناثرة هنا وهناك على السطوح المستوية المبلولة. وهي (أي الحلقات الملونة) تظهر بجلاء عند حواف بقع الزيت التي نجدها أحياناً ملقاة على أرصفة الشوارع المبلولة. ولنتدبر ما يحدث في هذه الحال في ضوء التصور الموجي للضوء، معتمدين في ذلك على المعالجة الواردة في كتاب «البصريات» الذي وضعه في الأربعينات العالِم الألماني العظيم، أرنولد زومرفيلد Sommerfeld.

لنفرض أولاً أن شريحة رقيقة من سائل أكثر كثافة (بصرياتياً) من الزيت تغطي الرصيف الأسود. ولنتدبر بقعة من الزيت تقع على هذه الشريحة. فإذا وقع شعاع ضوئي على سطح البقعة، فإن جزءاً منه ينعكس عن السطح العلوي للبقعة، فيما يتابع باقي الشعاع سيره نحو السطح السفلي للبقعة، والفاصل بين البقعة وشريحة السائل. ثم إن باقي الشّعاع، عند وصوله إلى السطح السفلي للبقعة، ينعكس جزء عنه، فيما يتابع الباقي سيره في السائل الكثيف حتى يمتصه سطح الرصيف الأسود. وبطبيعة الحال، فإن الجزء المنعكس عن السطح السفلي يكون متخلفاً عن نظيره المنعكس عن السطح العلوي، ومن ثم فإن نمط تداخلها يعتمد على مسافة التخلّف بينهما. ولكن قبل تحديد مسافة التخلّف، يجدر التنبّه: أولاً، إلى أن الموجات، عند انعكاسها عن وَسَط أكثر كثافة (بصرياتياً) من الوَسَط المنطلقة فيه، ينقلب طورها رأساً على عقب عند لحظة الانعكاس، بمعنى ينقلب القاع قمة والقمة قاعاً، وثانياً: إلى أن الموجات الضوئية لا «ترى» السماكة الهندسية المألوفة بين سطحي الانعكاس، بل «ترى» ما يسمى السماكة البصرياتية، وهي السماكة الهندسية مضروبة بمعامل انكسار الزيت. بيْد أن التنبيه الأول لا يؤثّر على التداخل في هذه الحال. إذ إن طول الموجات ينقلب بالكيفية ذاتها عند كلا السطحيْن، حيث إن الكثافة البصرياتية للسائل السفلي تفوق نظيرتها للزيت، مثلما أن الكثافة البصرياتية للزيت تفوق نظيرتها للهواء. أما التنبيه الثاني، فيتعين أخذه بالاعتبار.

وفي ضوء ما تقدّم، إذا كانت الاشعة الضوئية الواقعة على البقعة عمودية على سطحها، كانت مسافة التخلّف بين الشعاعيْن المنعكسيْن ضعف السماكة البصرياتية للبقعة. بذلك يتداخل الشعاعان كالآتي. إذا كانت الأشعة الضوئية الواقعة على البقعة أحادية التردّد أو اللون (مثلاً، حمراء، صفراء، زرقاء)، وكانت السماكة البصرياتية للبقعة ربع طول الموجة للأشعة المعنية، كانت مسافة التخلّف نصف طول الموجة، ومن ثم التقت قمم موجات الشعاع الأول قيعان الشعاع الثاني، والعكس بالعكس، فانتفى كلا الشعاعين، ونجم

عن التقائهما ظلام.

وإذا كانت السماكة البصرياتية نصف طول الموجات المنعكسة، كانت مسافة التخلّف طول موجة كاملة، ومن ثم التقت قمم الشعاع الأول قمم الشعاع الثاني وقيعان الأول قيعان الثاني، فتضاعفت شدة الضوء المنعكس، بمعنى عزّز الشعاعان بعضهما. وهلمّ جرّا.

هذا هو مبدأ التداخل في هذه الحال. ولقد بسّطنا الوضع بغية إبراز هذا المبدأ في نقائه وعريّه. أما الوضع الحقيقي، فهو أعقد من ذلك ولا ريب، ذلك أن الأشعة الضوئية الواقعة على البقعة ليست بالضرورة عمودية عليها. كما أنها ليست أحادية اللون، بل انها في العادة بيضاء، بمعنى تتشكّل من مزيج من الألوان جميعاً. فإذا أخذنا هاتيْن الحقيقتيْن بالاعتبار وطبّقنا مبدأ التداخل الموضح أعلاه، استطعنا تفسير تكوّن سلسلة من الحلقات القاتمة والأخرى اللامعة لكل لون من ألوان الطيف المرئي وعلى فترات طولية منتظمة ومتتالية عبر بقعة الزيت. أما سبب تحلّل الضوء الأبيض المنعكس إلى مكوّناته من ألوان الطيف بفعل التداخل، فهو ما سبق وأن ذكرناه عن العلاقة بين مسافة التخلّف وطول الموجة. فهذه العلاقة هي التي تحدّد مواقع الظلمة ومواقع السطوع لكل لون. وبطبيعة الحال، وبحكم تميّز كل لون عن الآخر بطول موجته، فإن لكل لون مسافات تخلّف خاصة به، ومن ثم مواقع ظلمة وسطوع خاصة به. وكذلك، وللسّبب ذاته، فإن الألوان التي تظهر على سطح بقعة الزيت تتغيّر بتغيّر زاوية النظر.

وعلى أية حال، فإن هذه الظاهرة لتشكل دليلاً قوياً على أن الضوء يسلك سلوك الموجات. فلا يمكن تفسيرها على اعتبار أن الضوء سيل من الدقائق النيوتونية الكلاسيكية.

وكمثال آخر على عملية تداخل الضوء، نذكر التجربة البسيطة التالية. أمسك بأسطوانة فونوغراف (بيك أب) في مستوى العينيْن، وانظر إلى

سطحها في اتجاه مصباح كهربائي يقع وراءها، بحيث تكون الزاوية بين أشعة المصباح الساقطة على الأسطوانة وسطح الأخيرة صغيرة جداً. عند ذاك تظهر خطوط متمايزة من ألوان الطيف (كما في قوس قزح) على حافة الأسطوانة القريبة من عينيك. ويعود السبب في ذلك إلى أن الأضواء المنعكسة عن نتوءات الأسطوانة تتداخل معاً لتشكّلَ خطوطاً مظلمة وأخرى ساطعة بألوان مختلفة.

ولسوف نعرض أمثلة أخرى على الطبيعة الموجية للضوء في مقالات مقبلة.

مطالعات إضافية مساعدة

(١) الإشعاع دون الأحمر:

A.I. Kitaigorodsky ,**Photons and Nuclei**, MIR, Moscow (1981).

(٢) نشأة مفهوم الفوتون وتطوره:

a) L.V. Tarasov, **Laser Age in Optics**, MIR, Moscow (1981).

b) V. Rydnik, **ABC's of Quantum Mechanics**, MIR, Moscow (1978).

c) W.H. Cropper, **The Quantum Physicists**, Oxford University Press, London (1970).

d) A. Einstein, **American Journal of Physics**, 33, 367-74,(1965).

e) A. D'Abro, **The Rise of the New Physics**, Vol. II, Dover, New York (1951).

f) هشام غصيب، أصول الميكانيكا الموجية، دار الفرقان، عمان (١٩٨٣).

(٣) بنية تطور الفكر الفيزيائي:

a) F.K. Richtmyer, **Introduction to Modern Physics**, McGraw-Hill (1928).

b) A. D'Abro, **The Rise of the New Physics**. Vol. I, Dover, New York (1951).

c) D.L. Hurd and J.J. Kipling (eds.), **The Origins and Growth of Physical Science**, Vols. I, II, Penguin, London (1964).

d) N. Feather, **Mass Length and Time**, Penguin, London (1959).

(٤) الماء الثقيل:

a) Hans A. Bethe, **Scientific American**, Sept. 1953, Vol. 189, No. 3, pp. 58-63.

b) هشام غصيب، ظاهراتية القوة النووية وطاقة الانشطار النووي، دار الفرقان، عمان (١٩٨٣).

(٥) منطق التوحيد في علوم الطبيعة:

a) Freeman J. Dyson, **Scientific American**, April 1953, Vol.

188, No. 4, pp. 57-64.

b) Albert Einstein, **Scientific American**, April 1950, Vol. 188, No. 4, pp. 13-17.

c) M. Jammer, **Concepts of Space**, Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachusetts (1969).

d) M. Jammer, **Concepts of Mass**, Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachusetts (1961).

e) J.J.C. Smart (ed.), **Problems of Space and Time**, Macmillan, New York (1968).

f) Howard Georgi, **Scientific American**, April 1981, Vol. 244, No. 4, pp. 40-55.

g) **The Research News**, Univ. of Michigan, June/July, 1981.

h) Frank Wilczek, **Scientific American**, Dec. 1980, Vol. 243, No. 6, pp. 60-68.

i) Steven Weinberg, **Scientific American**, June 1980, Vol. 244, No. 6, pp. 52-63.

j) Gerard 't Hooft, **Scientific American**, June 1980, Vol. 242, No. 6, pp. 90-116.

k) Bryce S. DeWitt, **Scientific American**, Dec. 1983, Vol. 249, No. 6, pp. 104-115.

l) E.S. Abers and B.W. Lee, **Gauge Theories**, Physics Reports, Vol. 9C, No.1, Nov. 1973.

m) H.T. Flint, **The Quantum Equation and the Theory of Fields**, Methuen, London (1966).

n) H.R. Pagels, **The Cosmic Code**, Bantam, New York (1983).

(٦) لماذا تبدو السماء زرقاء في النهار؟:

a) B. Yavorsky and A. Detlaf, **Handbook of Physics**, MIR, Moscow (1975).

b) R.S. Longhurst, **Geometrical and Physical Optics**, Longmans (1967).

(٧) أنماط النشاط الإشعاعي الطبيعي:

a) Yu. M. Shirokov and N.P. Yudin, **Nuclear Physics**, Vols. 1, 2, MIR, Moscow (1982).

b) V.E. Levin, **Nuclear Physics and Nuclear Reactors**,

MIR, Moscow (1981).

c) W.B. Mann and S.B. Garfinkel, **Radioactivity and its Measurement**, Van Nostrand, New York (1966).

(٨) المادية والمنهجية العلمية:

a) عمر فروخ، تاريخ العلوم عند العرب، دار العلم للملايين، بيروت (١٩٨٠).

b) حسين مروة، النزعات المادية في الفلسفة العربية الإسلامية، دار الفارابي، بيروت (١٩٧٨).

c) Galileo Galilei, **Two New Sciences,** Dover, New York (1954).

d) S. Drake (trans.),**Discoveries and Opinions of Galileo**, Anchor, New York (1957).

e) I.B. Cohen, **The Birth of a New Physics**, Heinemann, London (1968).

(٩) المادية وبنية الثورات العلمية:

a) Thomas S. Kuhn, **The Structure of Scientific Revolutions**, Univ. of Chicago Press, Chicago (1970).

b) Louis Althusser, **For Marx**, New Left Review Editions, London (1977).

c) غاستون باشلار، جدلية الزمن، ترجمة خليل أحمد خليل، المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع، بيروت (١٩٨٢).

d) د. محمد عابد الجابري، المنهاج التجريبي وتطور الفكر العلمي، الجزء الثاني، دار الطليعة، بيروت (١٩٨٢).

e) Hegel, **Logic**, trans. W. Wallace, Oxford (1973).

(١٠) لماذا تبدو السماء مظلمة في الليل؟:

a) Isaac Asimov, **The Universe**, Penguin, London (1971).

b) Jagjit Singh, **Modern Cosmology**, Penguin, London (1970).

c) George Gamow,**The Creation of the Universe**, Mentor, New York (1957).

d) D.W. Sciama, **Modern Cosmology**, Cambridge (1971).

e) Sir Arthur Eddington,**The Expanding Universe**, Cambridge (1952).

(١١) العقائدية وبنية الثورات العلمية:

a) M.E. Omelyanovsky, **Dialectics in Modern Physics**, Progress, Moscow (1979).

b) Carl Sagan,**Cosmos**, Random House, New York (1980).

c) Werner Heisenberg,**Physics and Philosophy**, Unwin (1971).

(١٢) ازدواجية المادة أم ازدواجية العقل:

a) Max Jammer,**Concepts of Force**, Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachusetts (1957).

b) A. D'Abro,**The Evolution of Scientific Thought**, Dover, New York (1950).

c) Sir Arthur Eddington,**The Nature of the Physical World**, Cambridge (1932).

d) J. Bronowski, **The Common Sense of Science**, Penguin, London (1960).

(١٣) الضوء والموجات:

a) N. Feather, **Vibrations and Waves**, Penguin, London (1961).

b) V.F.Weisskopf, **Knowledge and Wonder**, Heinemann, London (1964).

c) Arnold Sommerfeld, **Optics**, Vol. IV, Academic Press, New York (1972).

d) S.E. Frish, **Problems of Wave Optics**, MIR, Moscow (1976).

جولات في الفكر العلمي
موضوعات الكتاب الأول

- فن التأليف.
- الإشعاع دون الأحمر.
- بنية تطور الفكر العلمي.
- ذرة الضوء (الفوتون).
- الماء الثقيل.
- توحيد قوى الطبيعة.
- لماذا تبدو السماء زرقاء في النهار؟.
- النشاط الإشعاعي الطبيعي.
- الثورات العلمية.
- لماذا تبدو السماء مظلمة في الليل؟.
- العقائدية والعلم.
- العقل الكلاسيكي.
- كيف يتسنى لنا رؤية باطن الذرة؟.
- الضوء بوصفه حركة موجية.

مطابع الجمعية العلمية الملكية

جولات في الفكر العلمي

الكتاب الأول